

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АВАРИЙНЫХ ВЫКЛЮЧЕНИЙ В ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Хорольский В.Я.¹, Аникуев С.В.², Федосеева Т.С.¹, Шарипов И.К.¹

¹ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь. Россия (355017, Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12), e-mail: inf@stgau.ru

²Филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет приборостроения и информатики» в г. Ставрополе. Россия (355044, Ставрополь, пр. Кулакова, 18), e-mail: ser-anikuev@yandex.ru

Статья посвящена решению проблемы автоматизации процедуры вероятностно-статистической оценки аварийных выключений в городских электрических сетях. В результате проведенного анализа предложена форма обработки исходных данных, с целью их дальнейшей автоматизации. В практике работы городских электрических сетей вероятностно-статистическая оценка аварийных выключений обычно производится вручную. В статье рассмотрена последовательность действий для автоматизированной обработки статистических данных и приведены необходимые алгоритмы для выполнения расчетов. Разработан алгоритм автоматизации процедуры обработки исходной статистической информации. Приведены результаты машинной обработки статистических материалов по аварийным отключениям в Железноводских городских электрических сетях. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс обработки статистических данных об отключениях в электрических сетях; получены конкретные данные по надежности Железноводских электрических сетей.

Ключевые слова: автоматизация, надежность, вероятностно-статистическая оценка, аварийные выключения, городские электрические сети

PROBABILITY AND STATISTICAL EVALUATION OF EMERGENCY SHUTDOWNS OF THE URBAN ELECTRIC NETWORKS

Khorolsky V.Y.¹, Anikuev S.V.², Fedoseeva T.S.¹, Sharipov I.K.¹

¹Stavropol State Agrarian University, Stavropol, Russia (355017, Stavropol, Zootechnicheskiy Ln, 12), e-mail: inf@stgau.ru

²Branch «Moscow state university of instrument engineering and computer science» in the city of Stavropol (355044 Stavropol, pr. Kulakova, 18), e-mail: ser-anikuev@yandex.ru

Article is devoted to a solution of the problem of automation of procedure of a probabilistic and statistical assessment of emergency switching off in city electric networks. As a result of the carried-out analysis the form of processing of basic data, for the purpose of their further automation is offered. In practice of work of city electric networks the probabilistic and statistical assessment of emergency switching off is usually made manually. In article the sequence of actions for the automated processing of statistical data is considered and necessary algorithms for performance of calculations are given. The algorithm of automation of procedure of processing of initial statistical information is developed. Results of machining of statistical materials on emergency shutdowns are given in Zheleznovodsk city electric networks. It is developed algorithmic and the software allowing to automate processing of statistical data on shutdowns in electric networks; concrete data on reliability of Zheleznovodsk electric networks are obtained.

Keywords: automation, reliability, probabilistic and statistical assessment, emergency switching off, city electric networks

Среди различных показателей, характеризующих эффективность функционирования электрических сетей, центральное место занимает надежность, связанная с бесперебойностью электроснабжения потребителей. Перерывы в электроснабжении приводят к нарушению технологических процессов на предприятиях, сокращению выпуска и порче продукции, существенно влияют на процессы жизнедеятельности населения.

Установлена система показателей, характеризующих надежность электрических сетей [1]. В качестве основных характеристик обычно рассматриваются: параметр потока отказов и среднее время восстановления. Наличие значений рассматриваемых характеристик позволяет рассчитать другие показатели надежности, такие как коэффициент готовности, коэффициент технического использования, вероятность безотказной работы.

Определение параметра потока отказов и среднего времени восстановления представляет определенные трудности, поскольку такие характеристики специфичны для сетей каждого из поселений и для их установления необходим сбор и обработка статистических данных.

Основные результаты исследования

Существующая практика фиксации аварийных отключений в городских электрических сетях предусматривает ведение в оперативных службах специальных журналов в бумажном или электронном виде. Форма представления информации может быть различна. Проведенный анализ показал, что с целью автоматизации последующей обработки исходных данных, их целесообразно представить в следующем виде (таблица 1):

Таблица 1

Информация об аварийных отключениях

Дата и время отключения	Дата и время включения	Время простоя, ч	Отключаемые элементы сети	Причина отключения	Мероприятия по устранению
11.01.11 12:58	11.01.11 14:29	1:31	Ф-39 (ТП39, 38, 60, 21, 72, 110, 45, 19, 20, 22, 24, 16, 47, 59, 80)	Старение изоляции КЛ 10 кВ	Ремонтные работы на КЛ 10 кВ ТП39-КТП60
06.02.11 22:40	07.02.11 1:35	2:55	Ф-187 (ТП187, 178, 203, 205, 175, 194, 192, 191, 202, 221, 184, 165, 166, 183)	КЗ на стороне 0,4 кВ в ТП193	Устранение КЗ, замена ПН РУ0,4кВ и ПК в РУ10кВ
08.02.11 8:33	08.02.11 9:10	0:37	Ф-187 (ТП178, 203, 205, 199, 192, 191, 202, 222, 224)	Образование дуги на стороне 10 кВ в ТП178	Замена ВН в РУ 10 кВ

Фрагмент данных, приведенных в этой таблице, взят из диспетчерского журнала Железноводских электрических сетей Ставропольского края, рассматриваемых в качестве объекта исследования в данной статье.

При этом первые три столбца приведенной таблицы позволяют непосредственно получать исходный массив статистической информации, а последующие столбцы анализировать такие характеристики, как причины отключений, отключаемые участки сети,

В качестве примера рассмотрим массив статистической информации об аварийных отключениях в Железноводских городских электрических сетях Ставропольского края за три года с 2011 по 2013 год, содержащих нарушения работоспособности. Установлено, что параметр потока отказов для данных сетей $\omega \approx 66$ откл/год.

Сложнее решается задача определения среднего времени восстановления. Время ликвидации аварийной ситуации является случайной величиной и для ее анализа необходимо использовать вероятностно-статистический подход.

Математический аппарат обработки статистических данных хорошо известен и сводится к решению двух задач: формированию статистического ряда и оформлению его в виде гистограммы, а также выдвижению гипотезы о законе распределения случайной величины, построению теоретической кривой и проверке сходимости теоретического и статистического распределений [2].

В практике работы городских электрических сетей указанная задача обычно решается вручную. Назрела необходимость автоматизации такого процесса. Рассмотрим последовательность обработки статистических данных и необходимые алгоритмы для выполнения расчетов.

В рамках решения первой задачи, связанной с предварительной обработкой статистических данных, необходимо выполнить следующие процедуры: создать таблицу потока отказов, выполнить группировку исходных данных в вариационный ряд в порядке возрастания (убывания) случайной величины, построить гистограмму. Следует заметить, что при большом числе наблюдений (порядка сотен) вариационный ряд перестает быть удобной формой записи статистического материала. В такой ситуации его необходимо подвергнуть дополнительной обработке. Весь диапазон полученных значений случайной величины следует поделить на интервалы и подсчитать количество членов выборки, приходящихся на каждый интервал. Полученные значения делятся на общее число наблюдений и определяются частоты $p_i^* = \Delta n_i / N_i$ соответствующие данному разряду. Сумма частот всех разрядов должна быть равна единице. Указанный прием был применен к массиву информации об аварийных отключениях Железноводских городских электрических сетей, в результате получены данные, представленные в таблице 2.

Значения частоты появления отключений различной длительности
в городских электрических сетях

Δt_i , ч	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Δn_i	87	49	28	14	9	6	2
p_i^*	0,4416	0,2487	0,1421	0,0711	0,0457	0,0305	0,0102

Полученный статистический ряд необходимо оформить в виде гистограммы, которую построим следующим образом. По оси абсцисс отложим разряды и на каждом из них построим прямоугольник, площадь которого равна частоте данного разряда.

С целью автоматизации процедур обработки исходной статистической информации и построения гистограммы, разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рисунке 1.

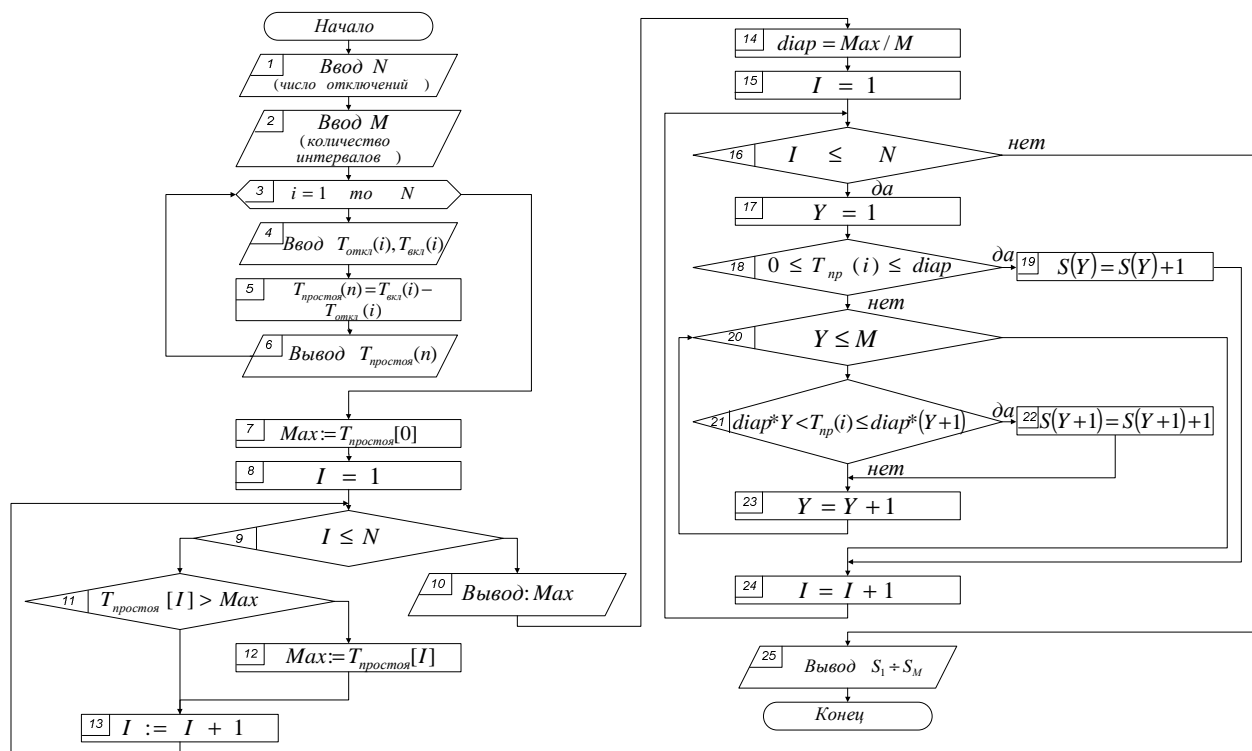


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма обработки статистической информации и построения гистограммы

По указанному алгоритму разработано программное обеспечение в среде Visual Basic. Результаты машинной обработки статистических материалов по аварийным отключениям в Железноводских городских электрических сетях представлены на рисунке 2.

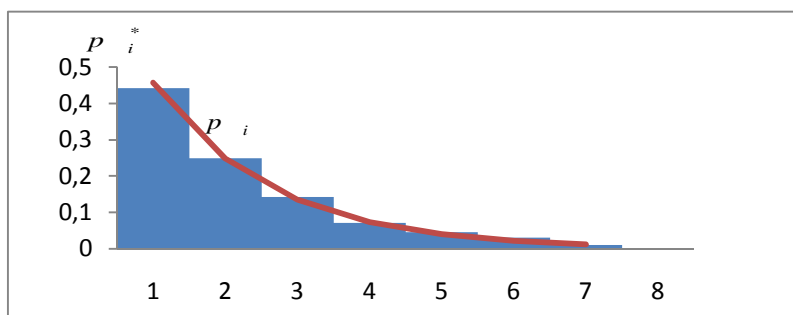


Рисунок 2. Гистограмма длительности отключений в городских электрических сетях

По виду полученной гистограммы можно выдвинуть гипотезу о предполагаемом законе распределения случайной величины. В рассматриваемом случае это будет экспоненциальный закон распределения. Имеющиеся в технической литературе сведения [3, 4] говорят о возможности использования такого закона распределения для электрических сетей в большинстве случаев.

Зная закон распределения случайной величины времени аварийных отключений и определив среднее время восстановления по формуле $T_e^* = \sum_{i=1}^k t_i p_i^*$ можно найти значения

теоретической кривой $F(t) = Q(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_e^*}}$. При этом частоты p_i теоретической кривой определяются как приращения функции распределения $F(t)$ на i -ом участке [5]. Теоретическая кривая, построенная по значениям p_i показана на рисунке 2.

Сравнивая гистограмму с теоретической кривой можно заметить, что между ними имеется расхождение. На практике такое расхождение всегда неизбежно. Следовательно, возникает вопрос о согласованности теоретического и статистического распределений. Такая проверка осуществляется по критериям согласия. Воспользуемся критерием χ^2 -Пирсона, как наиболее часто применяемым.

Критерий χ^2 -Пирсона не требует построения самого закона распределения. Достаточно задаться только общим видом функции $F(t)$, а входящие в нее числовые параметры определяются по данным эксперимента. При использовании критерия χ^2 -Пирсона мера расхождения определяется по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(\Delta n_i - N p_i)^2}{N p_i} \quad (1)$$

где k - число интервалов статистического ряда;

p_i - вероятность попадания случайной величины в i -й интервал, вычисленная для теоретического распределения;

N - число испытаний.

Для применения критерия χ^2 - Пирсона необходимо, чтобы $N \geq 50 \div 60$ и $k > 6 \div 8$. Рассматриваемый нами исходный массив статистической информации удовлетворяет этим условиям.

Распределение χ^2 зависит от числа степеней свободы $s = k - z - 1$, где z - число вычисляемых параметров распределения. Зная величину χ^2 и s по таблицам, приводимым в литературе по математической статистике можно определить вероятность p_s , характеризующую степень расхождения. Если $p_s > 0.1$, то обычно считают, что теоретическое распределение не противоречит экспериментальным данным.

Таким образом, проверка сходимости теоретического и статического распределения представляет ряд математических процедур, позволяющих определить величину вероятности p_s .

Нами разработан алгоритм проведения вычислений, блок-схема которого представлена на рисунке 3, а также программное обеспечение в среде Visual Basic, позволяющее проводить необходимые расчеты.

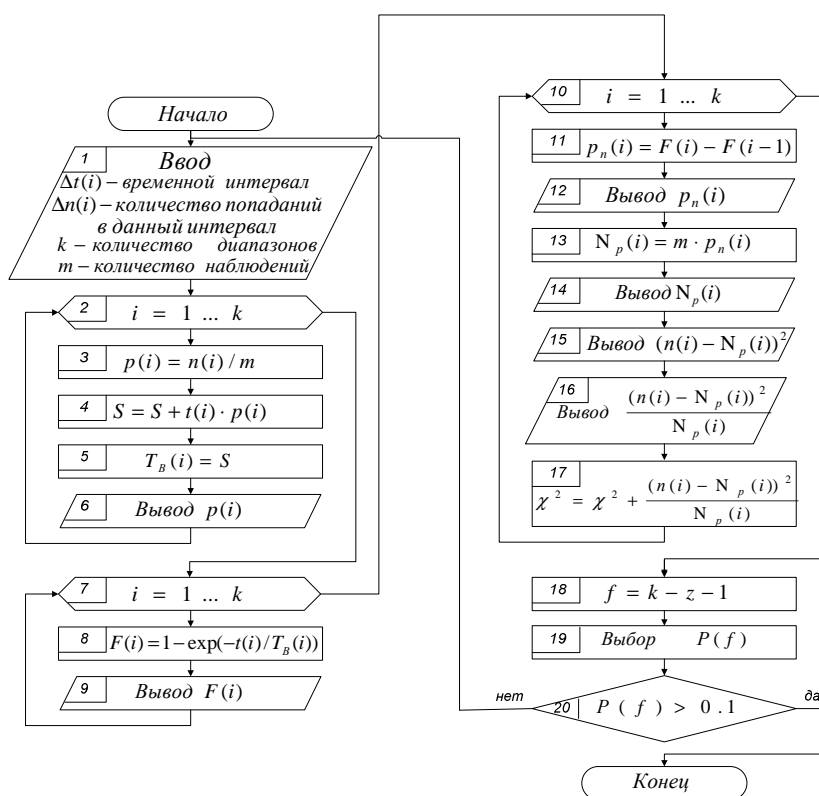


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма расчета надежности по статистическим данным

Результаты проверки сходимости теоретического и статистического распределений, показанных на рисунке 2, представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты проверки сходимости теоретического и статического распределений

$\Delta t_i, \text{ ч}$	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Δn_i	87	49	28	14	9	6	2
$F(t)$	0,4571	0,7053	0,84	0,9131	0,9528	0,9744	0,9861
p_i	0,4571	0,2482	0,1347	0,0731	0,0397	0,0216	0,0117
Np_i	90,051	48,888	26,541	14,409	7,8222	4,2466	2,3054
$(\Delta n_i - Np_i)^2$	9,3093	0,0126	2,1301	0,1669	1,3872	3,0745	0,0933
$\frac{(\Delta n_i - Np_i)^2}{Np_i}$	0,1034	0,0003	0,0803	0,0116	0,1773	0,724	0,0405
χ^2	0,1374						
p_s	0,98						

Полученная величина $p_s = 0,98$ малой не является и, следовательно, гипотезу о том, что время восстановления аварийных ситуаций в Железноводских городских электрических сетях подчиняется экспоненциальному закону можно считать правдоподобной.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований: разработано алгоритмическое и программное обеспечение, позволяющее автоматизировать процесс обработки статистических данных об отключениях в электрических сетях; получены конкретные данные по надежности Железноводских электрических сетей ($\omega \approx 66$ откл/год, $T_g = 1,67$ ч).

Список литературы

1. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Петров Д.В. Техничко-экономические расчеты распределительных электрических сетей: учебное пособие. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 108 с.
2. Хорольский В.Я., Таранов М.А., Шемякин В.Н., Аникуев С.В. Экспериментальные исследования в электроэнергетике и агроинженерии: учебное пособие. – Ставрополь: АГРУС, 2013. – 108 с.

3. Гук Ю.Б. Теория и расчет надежности в системах электроснабжения. – М.: Энергия, 1990. – 208 с.
4. Фокин Ю.А. Вероятностные методы в расчетах надежности электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 240 с.
5. Хорольский В.Я., Таранов М.А. Надежность электроснабжения: учебное пособие. – Ставрополь: АГРУС, 2013. – 108 с.

Рецензенты:

Калмыков И.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационной безопасности автоматизированных систем института информационных технологий и телекоммуникаций Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.

Федоренко В.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры прикладной математики и математического моделирования института математики и естественных наук Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.