

УДК 621.31:519.2

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Гулай Т.А., Полуянов И.А., Чеканов И.И.

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
e-mail: inf@stgau.ru

В этой статье будут показаны различные методы анализа теории вероятности, которые будут давать нам расширенное представление о применении вероятностных расчетов в электроэнергетике. Будут рассмотрены примеры выполнения задач на расчёт надёжности цепей, вероятности обрыва одного, или нескольких элементов, вероятность поломки блока питания, состоящего из последовательно соединённых элементов питания, и вероятность замыкания линий электропередач, состоящих из одной и более фаз питания. Также изучим два метода для решения одной из задач, которые помогут нам определиться с наиболее рациональным, а главное с наименьшим числом погрешности путем решения задачи на разрыв цепи линии электропередачи, что в свое время поможет нам обеспечить конечного потребителя электрической энергией.

Ключевые слова: вероятность, электротехника, электроэнергетика, точность, характеристика, разрыв цепи, блок питания, фаза, генератор, величина погрешности, линия электропередачи

APPLICATION OF PROBABILITY THEORY IN ELECTRIC POWER INDUSTRY

Gulay T.A., Poluyanov I.A., Chekanov I.I.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Stavropol State Agrarian
University, Stavropol, e-mail: inf@stgau.ru

In this article, various methods of analyzing probability theory will be shown, which will give us an extended view of the use of probabilistic calculations in the power industry. Examples of performing tasks for calculating the reliability of circuits, the probability of one or several elements breaking, the probability of a power supply failure consisting of series-connected batteries, and the probability of shorting power lines consisting of one or more power phases will be considered. We will also study two methods for solving one of the tasks that will help us determine the most rational, and most importantly, the smallest number of errors by solving the problem of breaking the power line circuit, which in due time will help us provide the final consumer with electrical energy.

Keywords: probability, electrical engineering, electric power industry, accuracy, characteristic, open circuit, power supply, phase, generator, error value, power line

Теория вероятностей – это математическая наука, которая изучает законы существующей реальности, на которую влияют бесчисленные взаимосвязанные факторы, которые не поддаются какому-либо учету.

Как правило, методы анализа вероятностей в электроэнергетике делятся на два класса: аналитический и статический метод. Аналитические методы способны дать более широкое представление зависимости характеристики вероятности условий, но применение этих методов тесно связано с определенными математическими трудностями получения зависимостей. При использовании статических методов нам необходимо задействовать большой объем вычислений, а также немалое количества времени чтобы получить точные решения данной системы [1, 2].

На сегодняшний день крупнейшие электроэнергетические системы являются кибернетически сложными техническими системами. Их аналитическое описание не представляется возможным [3]. В целях развития аналитические методы исследования этих систем вводятся определённые допущения, к ним мы можем отнести:

1. Упрощение структурных и математических моделей устройств и элементов
2. Функциональные преобразования законов распределения случайной величины;
3. Преобразование числовых характеристик;
4. Регрессионный анализ;
5. Факторный анализ;
6. Адекватный выбор закона распределения случайной величины.

Случайные явления называются такие явления, которые при повторном описании того же самого опыта происходят каждый раз по-разному. В системах электроснабжения случайными событиями, как правило, являются процессы изменения значений, характеризующих параметры режима: ток $I(t)$, напряжение $U(t)$, активная мощность $P(t)$, реактивная мощность $Q(t)$, происходящих во времени. Любая реализация определенных условий и действий, при которых наблюдается наблюдаемое случайное явление, называется опытом [4]. Примером может служить фиксирование активной энергии счетчиками через равные промежутки времени t дискретных значений мощности P в течение зимнего (летнего) рабочего дня. Результата-

ми экспериментов являются фиксированные последовательности дискретных значений мощности (P) группы потребителей рабочей мощности. Событие, которое происходит в нас окружающем мире, является результатом воздействия большого количества других событий [5, 6].

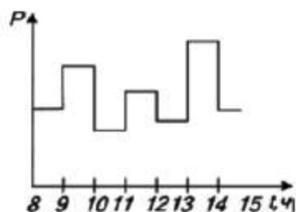


Рис. 1. Последовательность дискретных значений

Для того чтобы понять, как элементы теории вероятностей и статистики используются на практике, решим несколько задач:

Задача 1: определить вероятность перерыва электроснабжения в схеме, если известны вероятности отказа элементов данной схемы:

$$q_r = 4 \cdot 10^{-3}; q_n = 4 \cdot 10^{-3};$$

$$q_{T1} = 4 \cdot 10^{-5}; q_{T2} = 8 \cdot 10^{-5}.$$

$$q_{cx} = p(0) = \sum q_i - \sum q_i q_j + \sum q_i q_j q_k - \prod_1^4 q_i =$$

$$= q_r + q_{T1} + q_n + q_{T2} - q_r q_{T1} - q_r q_n - q_n q_{T2} - q_{T1} q_n -$$

$$- q_{T1} q_{T2} - q_r q_{T2} + q_r q_{T1} q_n + q_r q_n q_{T2} + q_{T1} q_n q_{T2} - q_r q_{T1} q_n q_{T2}.$$

Подставляя значения, получим:

$$q_{cx} \approx 8,08546 \cdot 10^{-3}.$$

Также можно записать, что

$$q_{cx} = q_r + q_{T1} + q_n + q_{T2} = 4 \cdot 10^{-3} +$$

$$+ 4 \cdot 10^{-5} + 4 \cdot 10^{-3} + 8 \cdot 10^{-5} = 8,1 \cdot 10^{-3}.$$

Если сравнить два полученных результата, то их погрешность будет равна 0,9%. Из этого мы можем сделать вывод, что при соединении небольшого числа элементов в цепи, вероятность перерыва электричества будет равна сумме вероятностей отказа элементов, входящих в схему [7].

Метод 2:

В предыдущем методе решения вычисления были достаточно велики, а при увеличении числа элементов в цепи, будет увеличиваться и погрешность в расчётах. Но существует также и другой, более точный способ решения. Чтобы для потребителя

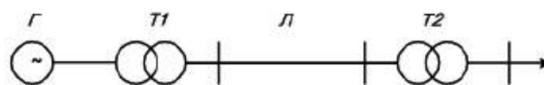


Рис. 2. Схема передачи электричества

Решение: для начала нам необходимо определить вероятности безотказной работы данной системы. Она находится как противоположное событие:

$$p_r = 1 - q_r = 1 - 4 \cdot 10^{-3} = 0,996$$

$$p_{T1} = 1 - q_{T1} = 1 - 4 \cdot 10^{-5} = 0,99996$$

$$p_n = 1 - q_n = 1 - 4 \cdot 10^{-3} = 0,996$$

$$p_{T2} = 1 - q_{T2} = 1 - 8 \cdot 10^{-5} = 0,99992$$

Задачу можно решить двумя способами: согласно теореме сложения для совместных событий (метод 1) и через противоположные события (метод 2).

Метод 1:

Учитывая, что в системе могут выключиться сразу несколько элементов, то вероятность перерыва в цепи будет равна:

дошла энергия, необходимо, чтобы все элементы цепи работали, а значит, используя теорему для умножения совместных событий, получим:

$$q_{cx} = p_r p_{T1} p_{T2} p_n.$$

Вероятность отказа системы найдем как противоположное событие:

$$q_{cx} = 1 - q_{cx} = 1 - p_r p_{T1} p_{T2} p_n = 8,08546 \cdot 10^{-3}.$$

Ответ: $q_{cx} = 8,08546 \cdot 10^{-3}$.

Задача 2: вероятность замыкания одной фазы линии электропередач $P(A) = 0,02$. Вероятность короткого замыкания третьей фазы, учитывая, что одна из трех фаз выведенных из строя $P(B|A) = 0,3$; вероятность короткого замыкания третьей фазы при условии, что две другие фазы сломаны $P(C|AB) = 0,4$. Необходимо найти вероятность поломки всей линии электропередач.

Полным выходом из строя ЛЭП называется поломка всех ее фаз, значит, вероятность этого события равна:

Решение:

$$P(ABC) = P(A)P(B | A)P(C | AB) = \\ = 0,02 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 0,0024.$$

Ответ: $P(ABC) = 0,0024$.

Задача 3: Дом обеспечивается электричеством от генератора или через трансформатор. Завтра, с 12.00 до 12.30, планируется остановка генератора на 20 минут, а также отклонение трансформатора на 15 минут. Необходимо найти вероятность того, что произойдет поломка блока питания в доме.

Решение: для начала нам необходимо обозначить прерывание электричества дома буквой А, произойдет оно или нет, будет зависеть от двух параметров: x – момента остановки генератора, а также y –момента отключения трансформатора. Значит, результат, который может связан с событием А, может быть представлен точкой Е с координатами $(x; y)$ на плоскости x - y , а за начало отсчета возьмем момент времени 12:00, за единицу измерения минуту. Пространство Ω всевозможных исходов Е, которые связаны с отключением генератора и трансформатора, будет представлять собой квадрат со сторонами по 30 минут каждая. Событие А произойдет только тогда, когда генератор и трансформатор будут выключены одновременно. Это условие может быть записано в виде системы неравенств:

$$\begin{cases} x - y \leq 15 \\ x - y \leq 20 \end{cases}$$

Первое неравенство соответствует случаю, когда трансформатор впервые выведен из эксплуатации, а второе-когда генератор впервые остановлен. Эта система на рисунке соответствует площади между соответствующими прямыми линиями. Событию соответствует точка пересечения этой области с помощью площади Ω [8].

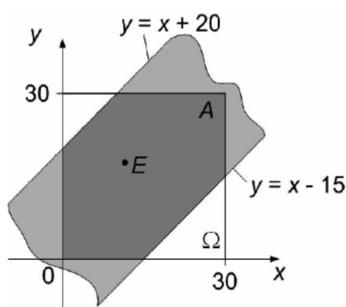


Рис. 3. Пространство всевозможных исходов

Площади областей Ω и S будут равны:

$$S_{\Omega} = 30 \cdot 30 = 900$$

$$S_A = S_{\Omega} - \left(\frac{15 \cdot 15}{2} + 10 \cdot \frac{10}{2} \right) =$$

$$= 900 - 162,5 = 737,5.$$

Тогда вероятность будет равна:

$$P(A) = \frac{S_A}{S_{\Omega}} = \frac{737,5}{900} = 0,819.$$

Ответ: $P(A) = 0,819$.

Задача 4: найти вероятность повреждения блока, который состоит из последовательно соединенных котла, турбины, и генератора, если вероятности повреждения отдельных блоков равны: $q_k = 0,03$, $q_T = 0,02$, $q_G = 0,01$.

Вероятности целостности отдельных элементов:

$$p_k = 1 - 0,03 = 0,97,$$

$$p_T = 1 - 0,02 = 0,98,$$

$$p_G = 1 - 0,01 = 0,99.$$

Найдем вероятность, что все элементы не повреждены:

$$p_{\text{бл}} = p_k p_T p_G,$$

$$p_{\text{бл}} = 0,97 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,941.$$

Далее найдем вероятность повреждение блока, как вероятность противоположную вероятности неповрежденного блока:

$$q_{\text{бл}} = 1 - p_{\text{бл}},$$

$$q_{\text{бл}} = 1 - 0,941 = 0,059,$$

Ответ: $q_{\text{бл}} = 0,059$.

Список литературы

1. Маркушевич А.И. Комплексные числа и конформные отображения. Выпуск 13. Популярные лекции по математике. 2-е изд.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960.
2. Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике: учебное пособие. 5-е изд.: Лань, 2007. 640 с.
3. Сикоренко М.А., Ушакова В.С. Использование методов математической статистики и теории вероятностей в экономике // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 3–3.
4. Долгополова А.Ф., Морозова О.В., Долгих Е.В., Крон Р.В., Тьянко Н.Н., Попова С.В., Смирнова Н.Б. Теория вероятностей для экономических специальностей на базе excel (практикум) // Международный журнал экспериментального образования. 2009. № 5. С. 19–20.
5. Шеин В.Г., Долгополова А.Ф. Особенности математического моделирования при прогнозировании спро-

са // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5–2. С. 181–183.

6. Мамаев И.И., Бондаренко В.А., Шibaев В.П. Теория вероятностей и математическая статистика в аграрном вузе // Финансово-экономические проблемы развития региона и учетно-аналитические аспекты функционирования предпринимательских структур Сборник научных трудов по материалам Ежегодной 77-й научно-практической конференции ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет» «Аграрная наука – Северо-Кавказскому федеральному округу». 2013. С. 478–482.

7. Долгополова А.Ф., Цыплакова О.Н. Последовательность проведения регрессионного анализа и его применение в экономике / Актуальные вопросы теории и практики бухгалтерского учета, анализа и аудита Ежегодная 75-я научно-практическая конференция. Редколлегия: В.З. Мазлов, А.В. Ткач, И.С. Санду, И.Ю. Скляр, Е.И. Костюкова, Ответственный за выпуск А.Н. Бобрышев. 2011. С. 127–129.

8. Долгополова А.Ф., Шмалько С.П. Особенности преподавания профессионально ориентированного курса математики для студентов экономических направлений // Современное образование. 2017. № 4. С. 39–47.