

УДК 004.021

UDC 004.021

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ
РОССИИ**

**FORECASTING OF LOSSES OF POWER IN
THE POWER SYSTEM OF RUSSIA**

Дубенко Юрий Владимирович
к.т.н., доцент
scorpioncool1@yandex.ru
РИНЦ SPIN-код: 3123-0360

Dubenko Yuri Vladimirovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
scorpioncool1@yandex.ru
SPIN-code: 3123-0360

Сумская Ольга Александровна
к.т.н., доцент
able-al@pochta.ru
РИНЦ SPIN-код: 6240-4052

Sumskaya Olga Aleksandrovna
Cand.Tech.Sci., associate professor
able-al@pochta.ru
SPIN-code: 6240-4052

Дышкант Евгений Евгеньевич
аспирант
ed0802@yandex.ru

Dyshkant Evgeniy Evgenevich
postgraduate student
ed0802@yandex.ru

Ручкин Александр Сергеевич
аспирант
zdarovalex@mail.ru

Ruchkin Aleksandr Sergeevich
postgraduate student
zdarovalex@mail.ru

Армавирский механико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Армавир, Россия

Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of FSBE HPE Kuban State Technological University, Armavir, Russia

За ростом промышленного и бытового энергопотребления, имеющим место в нашей стране в последнее десятилетие, последовал и рост аварийности в электрических сетях России. Подобная ситуация напрямую связана с высоким процентом изношенного оборудования в электросетях. Износ оборудования, аварийность – это неперенные спутники такого понятия как потери электроэнергии. Несмотря на наметившийся в последнее время перелом тенденции в сторону уменьшения, потери электроэнергии в среднем по стране находятся на уровне 80-х годов прошлого века. Прогнозирование является одним из мероприятий, способствующих их снижению, т.к. позволяет вовремя выявить неблагоприятные тенденции, а также рассчитать эффект от проведения различного рода технологических мероприятий. Имеющий место рост интереса к интеллектуализации образования и различных областей промышленности не должен обойти и электроэнергетическую отрасль, к слову, являющуюся достаточно консервативной. Развитие концепции «умной сети» и ее внедрение могло бы способствовать повышению надежности электрических сетей. Одним из признаков «умной сети» является возможность

The growth of breakdown in electric networks of Russia has been followed by the growth of industrial and domestic power consumption taking place in our country in the last decade. This situation is directly connected with the high percentage of outdated equipment in electric networks. Such thing as a loss of power is directly connected with deterioration of equipment and breakdown. Average losses of power in the country are at the level of 1980-s, despite the turning point to the side of reduction outlined recently. Forecasting is one of the activities that contribute to their reduction, as it allows identifying adverse trends and calculating the effect of different kinds of technological arrangements. The visible growth of interest in the intellectualization of education and in the different fields of industry should not avoid the electric power field, which is quite conservative. The development of the concept of a “smart network” and its implementation would help to improve the reliability of electric networks. One of the signs of such a network is the possibility to assess the current situation automatically and forecasting of its parameters in the future, including energy losses. This article examines the main factors affecting the value of power losses, the analysis of the most popular methods of forecasting is conducted, and conclusion about the prospects of their use to predict the losses of power has been made based on the

автоматической оценки текущей ситуации и прогнозирование ее параметров в будущем, в т.ч. потерь электроэнергии. В данной статье рассматриваются основные факторы, влияющие на величину потерь электроэнергии, проводится анализ наиболее популярных методов прогнозирования, по результатам которого делается вывод относительно перспективы их использования для прогнозирования потерь электроэнергии

results of this analysis

Ключевые слова: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ, МЕТОД

Keywords: FORECASTING, LOSSES OF POWER, METHOD

С начала 2000-х происходит рост промышленного и бытового энергопотребления в нашей стране. Одной из особенностей энергосистемы России является высокая доля устаревшего и выработавшего свой ресурс оборудования, что является прямым следствием кризисных явлений в 90-е годы. Такая ситуация, когда потребление электроэнергии растет, а отрасль продолжает держаться на советском наследии, приводит к росту числа аварийных ситуации, а также увеличению потерь электроэнергии в электросетях. Как указано в [2], уровень потерь в 10 % является максимальным с технической точки зрения. Во многих региональных энергосистемах уровень потерь и по сей день остается на уровне выше среднего. Проблема высокого уровня потерь сегодня признана на государственном уровне [14]. Все это говорит о высокой актуальности и востребованности исследований в данной области.

Одним из мероприятий, направленных на снижение потерь электроэнергии является их планирование. По мнению Ю.С. Железко [6], планирование потерь должно осуществляться в два этапа - разработка плана мероприятий по снижению потерь и их прогнозирование на основе анализа ретроспективной и перспективной информации. Прогнозирование потерь электроэнергии в электросетевых организациях позволяет правильным образом определить перспективную потребность в средствах снижения потерь [4]. Основной целью прогнозирования, как правило, является получение наиболее точного результата. Достижение данной цели

возможно при правильном выборе методов прогнозирования, а также учете как можно большего количества влияющих факторов [5,6].

В связи с тем, что коммерческие потери не имеют самостоятельного математического описания, сосредоточим основное внимание на прогнозировании технических потерь электроэнергии.

Важной особенностью электрических сетей, которую необходимо учитывать при определении потерь электроэнергии, является их дифференциация по уровням напряжения. Около 70 % общих потерь электроэнергии приходится на сети 6-20 кВ [12], а наибольшие трудности при определении потерь электроэнергии имеют место в сетях 6-35 и 0,38 кВ, на что указывается и в [7]. Далее рассмотрим более детально факторы, влияющие на технические потери электроэнергии в распределительных сетях с диапазоном напряжений 0,4 - 35 кВ [2,3,4,6]:

1. В сетях 6-35 кВ - отпуск электроэнергии в сеть, протяженность сети, количество распределительных линий (РЛ), количество трансформаторных подстанций (ТП), установленная мощность трансформаторов, эквивалентное сопротивление [4].

2. В сетях 0,4 кВ - отпуск энергии потребителям, протяженность сети (включая ответвления), количество ТП, средневзвешенный коэффициент асимметрии загрузки фаз, групповое эквивалентное сопротивление линий, эквивалентное сопротивление [4,6].

3. Климатические факторы (температура воздуха, вид осадков).

В ряде источников [7] отмечают наличие сезонной динамики уровня технических потерь.

Далее проведем краткий анализ наиболее популярных методов прогнозирования.

Корреляционный и регрессионный анализ

Согласно [11], регрессия – это односторонняя стохастическая зависимость, устанавливающая соответствие между случайными

величинами. Метод регрессионного анализа заключается в поиске связи прогнозируемой величины со значением независимой переменной или переменных [11], т.е. стохастическая зависимость переменной y от x_1 и x_2 будет означать регрессию y на x_1 и x_2 [11].

Достоинства [11]: простота вычислений; наглядность и интерпретируемость результатов.

Недостатки [11]: невысокая точность прогноза; сложность определения вида функциональной зависимости; отсутствие объяснительной функции; частое нарушение основных предпосылок корректности метода; низкая эффективность прогноза при наличии случайных величин или неточности (недостаточности) значений независимых переменных; субъективный характер выбора вида конкретной зависимости.

Факторный анализ

Согласно [1], при решении задачи методами регрессионного анализа факторы и структура модели вводятся априори; при решении методами факторного анализа предположения о факторах, определяющих поведение системы случайных величин, являются менее конкретными, предполагается только их существование, а количество факторов и структура модели находятся в ходе решения задачи.

Достоинства [1,13]: наличие объяснительной функции; снижение вероятности субъективной оценки важности тех или иных переменных; эффективность в областях, где невозможна манипуляция наблюдаемыми переменными; существенное уменьшение размерности задачи при использовании данного метода; возможность разложения выделенных факторов на более простые составляющие; нетребовательность к глубокому изучению исследуемого объекта и наличию априорных знаний; выявление основного набора факторов, оказывающих существенное влияние в данной области;

Недостатки [1,13]: необходимость включения большого количества переменных, охватывающих всю область исследования при изучении малоизвестной структуры; отсутствие однозначного математического решения проблемы факторных нагрузок; сложности в интерпретации результатов.

Нечеткая логика

Была предложена Л. Заде в 1965 году для описания явлений и понятий, имеющих многозначный и неточный характер [10]. Элемент может принадлежать подмножеству в большей или меньшей степени [10], т.е. нечеткая логика, грубо говоря, основана на применении таких оборотов естественного языка как «далеко», «близко», «холодно», «горячо» [10]. Диапазон применения данной теории обширен – от бытовых приборов до управления сложными промышленными процессами [10]. Элементы нечеткой логики активно применяются и в прогнозировании.

Нечеткое множество A в полном пространстве X определяется через функцию принадлежности $m_A(x)$ следующим образом [10]:

$$m_A: X \rightarrow [0,1], x \in X, m_A(x) \in [0,1], x \rightarrow m_A, \quad (1)$$

где $m_A(x)$ обозначает субъективную оценку степени принадлежности x множеству A .

В [10] в качестве примера нечеткого множества приводится следующее: если $X = R$, где R – множество действительных чисел, то множество действительных чисел, «близких к семи», можно определить функцией принадлежности:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1+(x-7)^2} \quad (2)$$

Нечеткое множество для функции принадлежности (2) можно определить выражением:

$$A = \int_x \frac{[1+(x-7)^2]^{-1}}{x} dx \quad (3)$$

Достоинства [10]: простота метода; решение нестандартных задач; гибкость; позволяет сократить объемы вычислений.

Недостатки [10]: отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем; невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами; применение нечеткого подхода по сравнению с вероятностным, не приводит к повышению точности вычислений.

Нейронные сети

Нейронная сеть является совокупностью элементов, соединенных таким образом, чтобы между ними обеспечивалось взаимодействие. Такие элементы, называемые нейронами или узлами, представляют собой простые процессоры, вычислительные возможности которых ограничиваются некоторым правилом комбинирования входных сигналов и правилом активизации, позволяющим вычислить выходной сигнал по совокупности входных сигналов. Выходной сигнал элемента может посылаться другим элементам по взвешенным связям, с каждой из которых связан весовой коэффициент или вес [10].

Простейшая модель нейрона, представленная в 1943 году МакКаллоком и Питтсом, показана на рис. 1 [10].

Компонент f , изображенный на рис. 1 представляет собой функцию активации, преобразующую полученную взвешенную сумму входных сигналов в выход нейрона, $u_1 \dots u_n$ – входные сигналы, $\omega_1 \dots \omega_n$ – синаптические веса нейрона, u_0 – порог [10]. Уравнение, описывающее данную модель, представлено ниже [10]:

$$f = \sum_{i=1}^N \omega_i u_i + u_0 \quad (4)$$

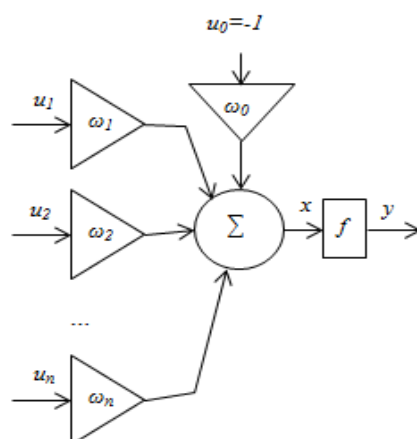


Рисунок 1. Простейшая модель нейрона

Достоинства [10]: высокая точность прогноза; адаптивность; решение нестандартных задач; использование обучения вместо программирования; извлечение знаний из данных; быстрая корректировка прогноза при получении новых данных.

Недостатки [10]: отсутствие объяснительной компоненты; большое время обучения; трудности формирования архитектуры сети; необходимость большой обучающей выборки; эвристичность обучения.

Генетические алгоритмы

Приведем классический генетический алгоритм с описанием его этапов [10]:

1. Выбор исходной популяции хромосом.
2. Оценка приспособляемости хромосом в популяции по формуле:

$$Eval(V_i) = \frac{f'_i}{\sum_{j=1}^{pop_size} f'_j}, i = 1, 2, \dots, pop_size, \quad (5)$$

где $f'_{i \text{ or } j} = a f_{i \text{ or } j} + b$ – линейная функция масштабирования приспособленности, pop_size – размер популяции.

3. Проверка условия остановки алгоритма.
4. Селекция хромосом. Состоит в выборе наиболее «приспособленных» хромосом для создания следующей популяции. Одним из наиболее популярных методов селекции является метод рулетки, при

котором каждой хромосоме ch_i (для $i = 1, 2 \dots N$) ставится в соответствие определенный сектор $v(ch_i)$, величина которого зависит от значения функции приспособляемости (6).

$$v(ch_i) = p_s(ch_i) * 100\%, \quad (6)$$

где

$$p_s(ch_i) = \frac{F(ch_i)}{\sum_{i=1}^N F(ch_i)}, \quad (7)$$

где $F(ch_i)$ – значение функции приспособленности хромосомы ch_i ,
 $P_s(ch_i)$ – вероятность селекции хромосомы ch_i .

5. Применение генетических алгоритмов к хромосомам, отобранным в результате селекции, позволяет сформировать новую популяцию потомков созданной на предыдущем шаге родительской популяции.

6. Формирование новой популяции. Хромосомы, полученные в результате применения генетических операторов к хромосомам родительской популяции, включаются в состав новой популяции.

7. Выбор «наилучшей» хромосомы. Если условие остановки алгоритма выполнено, выводится результат работы.

Достоинства [10]: адаптивность; возможности для распараллеливания.

Недостатки [10]: недостаточная методологическая база; узкость и специфичность применения; поисковый алгоритм требует затрат времени, но не гарантирует оптимального решения.

В данной статье были рассмотрены различные аспекты прогнозирования потерь электроэнергии, выявлено, что наибольшая их доля приходится на распределительные сети 0,4 – 35 кВ. Рассмотрены основные факторы, влияющие на величину потерь электроэнергии. Проведен анализ основных методов прогнозирования, выявлены их достоинства и недостатки. Влияние на величину потерь факторов, подверженных случайным колебаниям и оперирующих нечеткими

понятиями усложняет задачу прогнозирования потерь электроэнергии. В этой связи использование адаптивных комбинированных методов, таких как, нечеткая логика, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы для прогнозирования потерь электроэнергии в ЛЭП энергокомплекса РФ выглядит наиболее перспективно.

Литература

1. Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. Рабочая книга по прогнозированию-М.: Мысль 1982. – 430 с.
2. Бохмат И. С, Воротницкий В. Э., Татаринев Е. П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. / «Электрические станции», 1998, № 9.
3. В. Э. Воротницкий, М. А. Калинкина, Е. В. Комкова, В. И. Пятигор Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. Динамика, структура, методы анализа и мероприятия. / «Энергосбережение», 2005, №2.
4. Воротницкий В.Э., Железко Ю.С., Казанцев В.Н., Пекелис В.Г., Файбисович Д.Л. Потери электроэнергии в электрических сетях энергосистем / Под. Ред. В.Н. Казанцева. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 368 с.
5. Дубенко Ю.В., Дышкант Е.Е. Применение аппарата искусственных нейрокомпьютерных сетей для прогнозирования потерь электроэнергии в линиях электропередач // IV международная научно-практическая конференция «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки»: сборник работ молодых ученых. Часть I. – Владикавказ: Министерство Республики Северная Осетия-Алания по делам молодежи, физической культуры и спорта, 2013. – С. 22-25.
6. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.
7. Железко Ю.С., Артемьев А.В., Савченко О.В. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. - М.: НЦ ЭНАС, 2004. – 280 с.
8. Иващенко А.Б. Традиционные и современные подходы в прогнозировании временных рядов / Наукові праці Донецького національного технічного університету № 1, 2012. С. 156 – 175.
9. Литвиненко В.И. Метод индуктивного синтеза РБФ нейронных сетей с помощью алгоритма клонального отбора / Індуктивне моделювання складних систем: зб. наук. праць: Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАНУ. Випуск 4, 2012 – Київ: МННЦ ІТС, 2012. С. 114 - 127.
10. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.
11. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Пер. с нем. и предисловие В.М. Ивановой. – М.: «Финансы и статистика» 1983. – 302 с.
12. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем - Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение» 2005. – 207 с.
13. Харман Г. Современный факторный анализ / Пер. с англ. В.Я. Лумельского, научное редактирование и вступительная статья Э.М. Бравермана. – М.: Статистика, 1972. 487 с.

14. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. № 1715-р.

References

1. Bestuzhev-Lada I.V., Sarkisjan S.A., Minaev Je.S. Rabochaja kniga po prognozirovaniju-M.: Mysl' 1982. – 430 s.
2. Bohmat I. S, Vorotnickij V. Je., Tatarinov E. P. Snizhenie kommercheskih poter' v jelektrojenergeticheskikh sistemah. / «Jelektricheskie stancii», 1998, № 9.
3. V. Je. Vorotnickij, M. A. Kalinkina, E. V. Komkova, V. I. Pjatigor Snizhenie poter' jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah. Dinamika, struktura, metody analiza i meroprijatija. / «Jenergosberezenie», 2005, №2.
4. Vorotnickij V.Je., Zhelezko Ju.S., Kazancev V.N., Pekelis V.G., Fajbisovich D.L. Poteri jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah jenergosistem / Pod. Red. V.N. Kazanceva. – M.: Jenergoatomizdat, 1983. – 368 s.
5. Dubenko Ju.V., Dyshkant E.E. Primenenie apparata iskusstvennyh nejrokom'juternyh setej dlja prognozirovanija poter' jelektrojenergii v linijah jelektroperedach // IV mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija «Molodye uchenye v reshenii aktual'nyh problem nauki»: sbornik rabot molodyh uchenyh. Chast' I. – Vladikavkaz: Ministerstvo Respubliki Severnaja Osetija-Alanija po delam molodezhi, fizicheskoi kul'tury i sporta, 2013. – S. 22-25.
6. Zhelezko Ju.S. Vybor meroprijatij po snizheniju potre' jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah: Rukovodstvo dlja prakticheskikh raschetov. - M.: Jenergoatomizdat, 1989. – 176 s.
7. Zhelezko Ju.S., Artem'ev A.V., Savchenko O.V. Raschet, analiz i normirovanie poter' jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah. - M.: NC JeNAS, 2004. – 280 s.
8. Ivashhenko A.B. Tradicionnye i sovremennye podhody v prognozirovanii vremennyh rjadov / Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu № 1, 2012. S. 156 – 175.
9. Litvinenko V.I. Metod induktivnogo sinteza RBF nejronnyh setej s pomoshh'ju algoritma klonal'nogo otbora / Induktivne modeljuvannja skladnih sistem: zb. nauk. prac': Mizhнародnij naukovo-navchal'nij centr informacijnih tehnologij ta sistem NANU. Vipusk 4, 2012 – Kiev: MNNC ITC, 2012. S. 114 - 127.
10. Rutkovsskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: Per. s pol'sk. I. D. Rudinskogo. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 452 s.
11. Ferster Je., Renc B. Metody korreljacionnogo i regressionnogo analiza / Per. s nem. i predislovie V.M. Ivanovoj. – M.: «Finansy i statistika» 1983. – 302 s.
12. Fursanov M.I. Opredelenie i analiz poter' jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah jenergosistem - Mn.: UVIC pri UP «Beljenergosberezenie» 2005. – 207 s.
13. Harman G. Sovremennij faktornyj analiz / Per. s angl. V.Ja. Lumel'skogo, nauchnoe redaktirovanie i vstupitel'naja stat'ja Je.M. Bravermana. – M.: Statistika, 1972. 487 s.
14. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 13 nojabrja 2009 g. № 1715-r.