

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ФАКТОРОВ, ОКАЗЫВАЮЩИХ СУЩЕСТВЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Ю.В. ДУБЕНКО, Е.Е. ДЫШКАНТ, А.С. РУЧКИН

*Армавирский механико-технологический институт
352905, Российская Федерация, г. Армавир, ул. Кирова 127.
электронная почта: ed0802@yandex.ru*

Электроэнергетическая отрасль является для экономики своего рода «кровеносной системой». Снижение кровоснабжения какого-либо органа в живом организме приводит к снижению его функциональных возможностей и, в перспективе, к развитию заболеваний. Так и в народном хозяйстве, недостаточное энергоснабжение промышленности, аграрного сектора, бытовых потребителей в конечном итоге может привести к возникновению «паталогических» явлений в экономике. В этом отношении важную роль играет и вопрос бережного расходования электроэнергии. В данном отношении важную роль играет задача снижения потерь электроэнергии, т.к. они являются прямыми убытками энергоснабжающих компаний. Данная задача является весьма актуальной для нашей страны. 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. Прогнозирование является одним из мероприятий, способствующих снижению потерь электроэнергии, т.к. позволяет вовремя выявить неблагоприятные тенденции, а также рассчитать эффект от проведения различного рода технологических мероприятий. В статье рассматриваются различные аспекты прогнозирования потерь электроэнергии. Приведено описание структуры потерь электроэнергии, факторов, влияющих на их величину. Проведен анализ наиболее популярных методов прогнозирования, выявлены их основные достоинства и недостатки.

Ключевые слова: прогнозирование, потери электроэнергии, метод.

Как указано в [1], уровень потерь в 10 % является максимальным с технической точки зрения. Во многих региональных энергосистемах РФ уровень потерь и по сей день остается на уровне выше среднего. Проблема высокого уровня потерь сегодня признана на государственном уровне [2]. Все это говорит о высокой актуальности и востребованности исследований в данной области. Различным вопросам в области исследования потерь электроэнергии посвящено большое количество трудов. В частности, разного рода аспектам данной проблематики посвятили свои работы следующие авторы: Арзамасцев Д.А., Артемьев А.В., Бохмат И. С, Воротницкий В. Э.,

Железко Ю.С., Казанцев В.Н., Калинкина М.А., Комкова Е.В., Липес А.В., Пекелис В.Г., Поспелов Г.Е., Пятигор В. И., Савченко О.В., Сыч Н.М., Татаринев Е. П., Файбисович Д.Л., Фурсанов М.И.

Ю.С. Железко определяет фактические потери электроэнергии как разность электроэнергии, поступившей в сеть, и электроэнергии, отпущенной из сети потребителям [3]. Он указывает, что потери имеют структуру, включающую в себя составляющие различного характера: потери в элементах сети, имеющие чисто физический характер, расход на работу оборудования подстанций, погрешности приборов учета, хищения и т.д. Для описания факторов, влияющих на потери электроэнергии, обратимся сначала к их структуре, описанной в [3]:

1) Технические потери (нагрузочные потери в линиях и трансформаторах, потери холостого хода, климатические). Их возникновение связано с преобразованием части электроэнергии в тепло в элементах сети. Значение определяется расчетным путем, но при этом используются многочисленные коэффициенты и усредненные значения, снижающие точность.

2) Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, обусловленный обеспечением работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала. Значение регистрируется счетчиками, установленными на подстанциях. Включение данного фактора в структуру потерь электроэнергии является объектом дискуссий [3].

3) Потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями измерений. Их значение определяется расчетным путем.

4) Коммерческие потери. Возникают в связи сознательным хищением электроэнергии путем изменения показателей счетчиков, потреблением электроэнергии без прибора учета и т.д. Не имеют самостоятельного математического описания. Значение определяется как разность между фактическими потерями и суммой трех первых видов.

На основании данных, приведенных в [3] построим схему, наглядно иллюстрирующую структуру потерь электроэнергии (рис. 1).

Важной особенностью электрических сетей, которую необходимо учитывать при определении потерь электроэнергии, является их дифференциация по уровням напряжения. В [6] указывается, что около 78 % от общей величины потерь приходится на электрические сети 110 кВ и ниже, в т.ч. 33,5 % на сети 0,4-10 кВ, в которых сосредоточена основная масса коммерческих потерь (60 %). М.И. Фурсанов в своем труде [7] обращает внимание на то, что 70 % общих потерь электроэнергии приходится на сети 6-20 кВ. Он также отмечает, что наибольшие трудности при определении потерь электроэнергии имеют место в сетях 6-35 и 0,38 кВ, на что указывается и в [3]. В этой связи, наиболее актуальной видится задача снижения потерь электроэнергии в распределительных сетях с диапазоном напряжений 0,4 - 35 кВ.

В настоящий момент предложено огромное количество методов и мероприятий по снижению потерь электроэнергии [3,7,8,9], среди которых можно отметить планирование потерь электроэнергии. Как указано в [9], 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 [8]. А если учесть тот факт, что стоимость потерь электроэнергии является одной из составляющих тарифа на электроэнергию [3], то задача их прогнозирования становится важной составляющей планирования финансовых показателей электросетевых компаний.

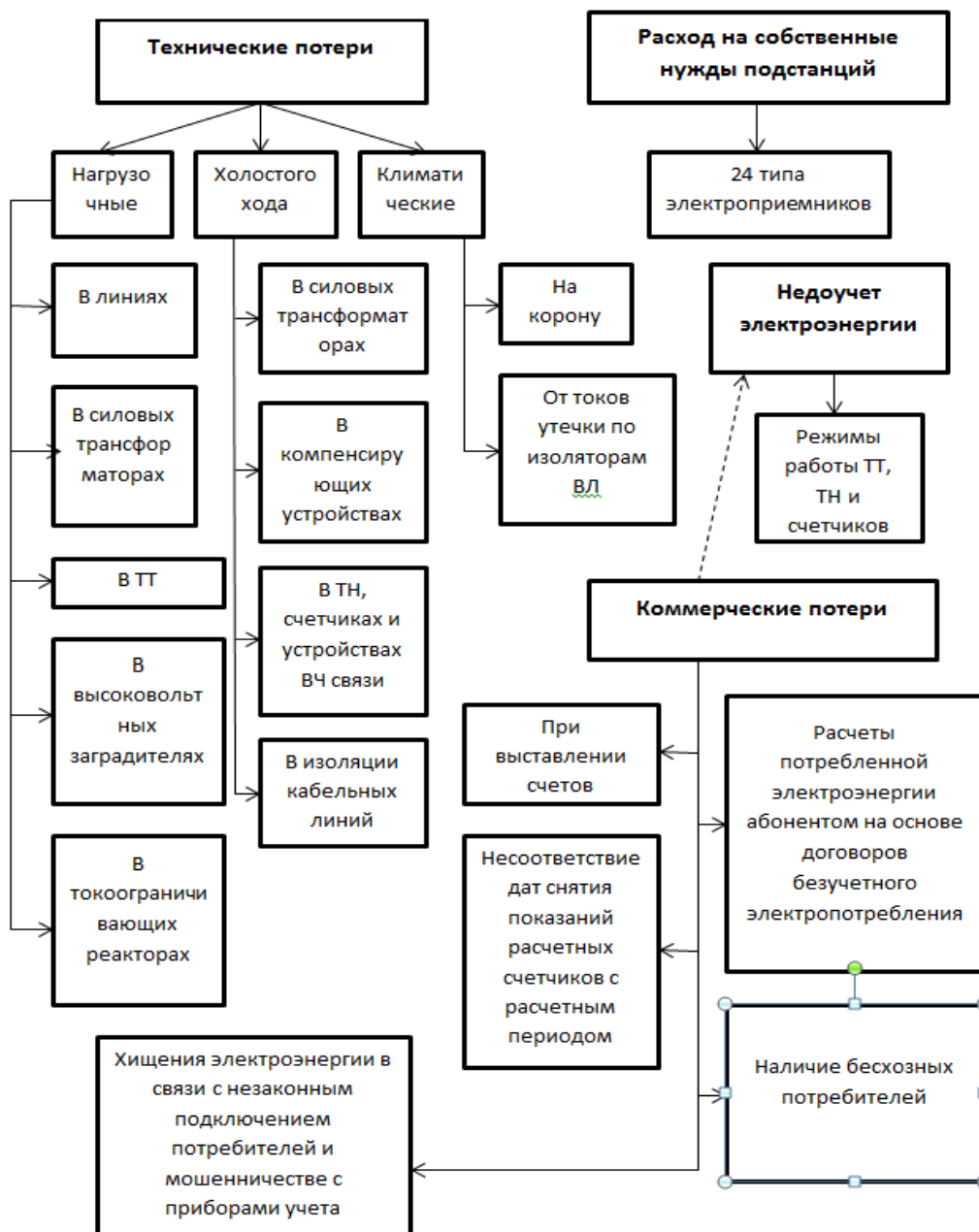


Рис.1. Структура потерь электроэнергии

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 [8].

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

Рассмотрим более детально факторы, влияющие на технические потери электроэнергии в распределительных сетях с диапазоном напряжений 0,4 - 35

кВ [3,8,9]: отпуск электроэнергии в сеть, протяженность сети, количество распределительных линий (РЛ), количество трансформаторных подстанций (ТП), установленная мощность трансформаторов, эквивалентное сопротивление [8,9], климатические факторы (температура воздуха, вид осадков).

В ряде источников [3] отмечают наличие сезонной динамики уровня технических потерь.

Далее проведем краткий анализ наиболее популярных методов прогнозирования.

Корреляционный и регрессионный анализ

Согласно [8], 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 [8], т.е. стохастическая зависимость переменной y от x_1 и x_2 будет означать регрессию y на x_1 и x_2 [8].

Достоинства [8]: простота вычислений; наглядность и интерпретируемость результатов.

Недостатки [8]: 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 [9], 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 [9,10]: 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 [9,10]: 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 [11]. Элемент может принадлежать подмножеству в большей или меньшей степени [11], т.е. нечеткая логика, грубо говоря, основана на применении таких оборотов естественного языка как «далеко», «близко», «холодно», «горячо» [11]. Диапазон применения данной теории обширен – от бытовых приборов до управления сложными промышленными процессами [11]. Элементы нечеткой логики активно применяются и в прогнозировании.

Нечеткое множество A в полном пространстве X определяется через функцию принадлежности $m_A(x)$ следующим образом [11]:

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

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

В [11] 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 [11]: простота метода; решение нестандартных задач; гибкость; позволяет сократить объемы вычислений.

Недостатки [11]: 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 [11].

Простейшая модель нейрона, представленная в 1943 году МакКаллоком и Питтсом, показана на рис. 2 [11].

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 [11]. Уравнение, описывающее данную модель, представлено ниже [11]:

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

Рис. 2. Простейшая модель нейрона

Достоинства [11]: высокая точность прогноза; адаптивность; решение нестандартных задач; использование обучения вместо программирования; извлечение знаний из данных; быстрая корректировка прогноза при получении новых данных.

Недостатки [11]: 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 [11]:

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

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

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 [11]: адаптивность; возможности для распараллеливания.

Недостатки [11]: 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. Бохмат И. С, Воротницкий В. Э., Татаринов Е. П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах. // «Электрические станции», 1998, № 9.

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

3. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии: Руководство для практических расчетов / Ю.С. Железко. – М.: Энас, 2009. 456 с.

4. 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.

5. Фурсанов М.И. Определение и анализ потерь электроэнергии в электрических сетях энергосистем - Мн.: УВИЦ при УП «Белэнергосбережение» 2005 г. 207 с.

6. 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.

7. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. - М.: Энергоатомиздат, 1989. 176 с.

8. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа / Пер. с нем. и предисловие В.М. Ивановой. – М.: «Финансы и статистика» 1983. – 302 с.

9. Бестужев-Лада И.В., Саркисян С.А., Минаев Э.С. Рабочая книга по прогнозированию-М.: Мысль 1982. – 430 с.

10. Харман Г. Современный факторный анализ / Пер. с англ. В.Я. Лумельского, научное редактирование и вступительная статья Э.М. Бравермана. – М.: Статистика, 1972. 487 с.

11. 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.

REFERENCES

1. Bohmat I. S, Vorotnickij V. Je., Tatarinov E. P. Snizhenie kommercheskih poter' v jelektrojenergeticheskikh sistemah. // «Jelektricheskie stancii», 1998, № 9.

2. Jenergeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Ros-sijskoj Federacii ot 13 nojabrja 2009 g. № 1715-r.

3. Zhelezko Ju.S. Poteri jelektrojenergii. Reaktivnaja moshhnost'. Kachestvo jelektrojenergii: Rukovodstvo dlja prakticheskikh raschetov / Ju.S. Zhelezko. – М.: Jenas, 2009. 456 s.

4. V. Je. Vorotnickij, M. A. Kalinkina, E. V. Komko-va, V. I. Pjatigor Snizhenie poter' jelektrojenergii v jelek-tricheskikh setjah. Dinamika, struktura, metody analiza i meroprijatija. // «Jenergoberezhenie», 2005, №2.

5. Fursanov M.I. Opredelenie i analiz poter' jelek-trojenergii v jelektricheskikh setjah jenergosisistem - Mn.: UVIC pri UP «Beljenergoberezhenie» 2005 g. 207 s.

6. Vorotnickij V.Je., Zhelezko Ju.S., Kazancev V.N., Pekelis V.G., Fajbisovich D.L. Poteri jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah jenergosisistem // Pod. Red. V.N. Kazan-ceva. – М.: Jenergoatomizdat, 1983. 368 s.

7. Zhelezko Ju.S. Vybor meroprijatij po snizheniju potre' jelektrojenergii v jelektricheskikh setjah: Rukovodstvo dlja prakticheskikh raschetov. - М.: Jenergoatomizdat, 1989. 176 s.

8. Ferster Je., Renc B. Metody korreljacionnogo i regressionnogo analiza / Per. s nem. i predislovie V.M. Ivanovoj. – М.: «Finansy i statistika» 1983. – 302 s.

9. Bestuzhev-Lada I.V., Sarkisjan S.A., Minaev Je.S. Rabochaja kniga po prognozirovaniju-M.: Mysl' 1982. – 430 s.

10. Harman G. Sovremennyj faktornyj analiz / Per. s angl. V.Ja. Lumel'skogo, nauchnoe redaktirovanie i vstupitel'naja stat'ja Je.M. Bravermana. – M.: Statistika, 1972. 487 s.

11. Rutkovskaja D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejrornyje seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy: Per. s pol'sk. I. D. Rudinskogo. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 452 s.

ANALYSIS OF FACTORS AND METHODS, HAS A SIGNIFICANT IMPACT ON THE PREDICTION OF LOSS OF ELECTRICITY

Y.V. DUBENKO, E.E. DYSHKANT, A.S. RUCHKIN

*Armavir Mechanics Technological Institute,
127, Kirov st., Armavir, Russian Federation, 352905;
e-mail: ed0802@yandex.ru*

The electricity industry is to the economy of some kind of "circulatory system". Reduced blood supply to an organ in a living organism leads to a reduction of its functionality and, in the long term, to the development of diseases. And in the national economy, insufficient energy supply industry, the agricultural sector, residential consumers may ultimately lead to a "pathological" phenomena in the economy. In this regard, an important role is played by the question of careful spending power. In this respect, an important role is played by the task of reducing electricity losses, as they are direct losses of utility companies. This problem is very urgent for our country. Since the beginning of the 2000s, there is a growth of industrial and domestic energy in our country. One feature of the Russian energy system is the high share of obsolete and worn-out equipment, which is a direct consequence of the crisis in 90 years. Such a situation, when electricity consumption is growing, and the industry continues to stay on the Soviet heritage, leads to an increase in the number of emergency situations, as well as the increase of power losses in electric systems. Forecasting is one of the activities that contribute to reduce energy losses, as It allows time to identify adverse trends, and calculate the effect of different kinds of technological measures. The article deals with various aspects of forecasting energy losses. The description of the structure of power losses, the factors that affect their value. The analysis of the most popular methods of forecasting, found their main advantages and disadvantages.

Key words: forecasting, losses of power, method.