

**АГЕЕВ В. А., РЕПЬЕВ Д. С., КАЗАКОВ Д. В.**  
**ОБЗОР ТРАДИЦИОННЫХ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ**  
**ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ**

**Аннотация.** В статье проводится обзор традиционных и нейросетевых методов прогнозирования электрической нагрузки. Представлен среднесрочный прогноз потребления электрической энергии в распределительной сети 0,4 кВ с применением метода статистического прогнозирования и простейшей нейронной сети. Анализ результатов показал, что обученная нейронная сеть выдает более точный результат по сравнению со статистическим прогнозом.

**Ключевые слова:** электрическая нагрузка, нейронная сеть, статистическое прогнозирование, прогноз потребления электроэнергии, распределительная сеть.

**AGEEV V. A., REPYEV D. S., KAZAKOV D. V.**  
**TRADITIONAL AND NEURAL NETWORK METHODS**  
**OF FORECASTING ELECTRICITY CONSUMPTION: AN OVERVIEW**

**Abstract.** The paper provides an overview of traditional and neural network methods for forecasting electricity consumption. A medium-term forecast of electric energy consumption in a 0.4 kV distribution power grid using the statistical forecasting method and the simplest neural network is presented. The analysis of the results showed that the trained neural network produces a more accurate result compared to the statistical forecast.

**Keywords:** electrical load, neural network, statistical forecasting, forecast of electricity consumption, distribution power grid.

Согласно программе развития электроэнергетики Республики Мордовии на 2021-2025 годы [4] на территории республики наблюдается тенденция увеличения потребления электрической энергии. Прогнозирование нагрузок (потребления) территориальными сетевыми компаниями осуществляется для обеспечения надежности и своевременного преодоления ограничений на перетоки электроэнергии. Отклонение фактического потребления от заявленного (прогнозируемого) на величину более 5% влечет за собой наложение штрафных санкций [3] или покупки недостающего объема (продажи избытка) по нетарифным ценам. В связи с этим возникает необходимость выбора методов прогнозирования электрической нагрузки. Методы прогнозирования можно классифицировать на качественные и количественные. Математический аппарат качественных методов состоит из ранжирования и обобщения экспертных оценок потребления электрической энергии и включает в себя метод обобщенного предсказания и

эвристические методы. Квантитативные методы включают в себя традиционные методы (статистический анализ, анализ временных последовательностей, Байесовское прогнозирование) и нейронные сети [2]. При выборе метода прогнозирования необходимо учитывать факторы, влияющие на конечное решение. К таким факторам можно отнести: требуемую форму прогноза; период прогнозирования; доступность статистических данных; точность; поведение прогнозируемого процесса и др.

В зависимости от периода прогнозирования, прогнозы классифицируют согласно [1]: оперативные (до нескольких часов в пределах текущих суток); краткосрочные (до десяти суток); среднесрочные (до нескольких месяцев); долгосрочные (до пяти лет); перспективные (на несколько лет вперед).

Традиционные методы основаны на прогнозировании стационарных случайных процессов через корреляционную функцию, описывающую этот процесс, т.е. аппроксимации графика с применением линейной или полиномиальной регрессии. С развитием теории искусственного интеллекта стало возможно воспроизводить зависимости многофакторных процессов, однако сложность применения нейронных сетей заключается в их настройке (обучении). Обучение нейронной сети происходит на определенной выборке, для которой известны исходы (значения). Точность прогнозной модели, основанной на нейронной сети, зависит от величины выборки и качества обучения. Для распределительной электрической сети напряжением 0,4 кВ по результатам контрольных замеров получен график электрических нагрузок, представленный на рисунке 1. Замеры параметров режима усреднены с интервалом времени 10 минут.

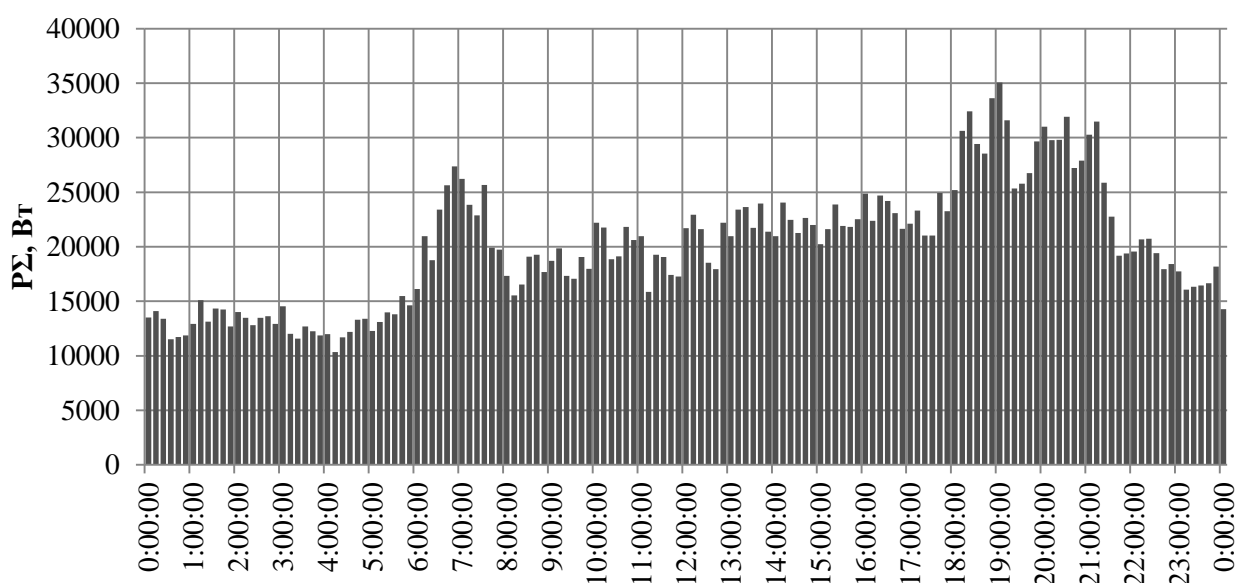


Рис. 1. График электрических нагрузок распределительной сети 0,4 кВ.

Статистическое прогнозирование потребления электрической энергии за сентябрь 2022 года (среднесрочный прогноз) выполняется на основании данных расхода электрической энергии полученных по графику нагрузки в день контрольных замеров. На рисунке 2 представлен суточный график расхода электрической энергии с нанесенной на него линией тренда и функцией описывающую ее.

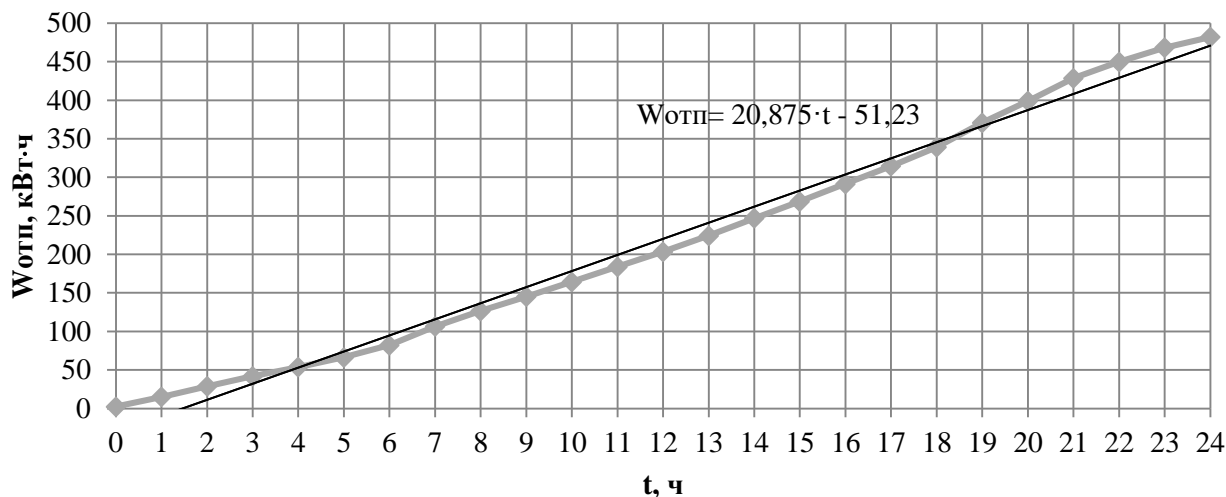


Рис. 2. График расхода электрической энергии в день контрольных замеров.

Величина отпуска электрической энергии, кВт·ч, за месяц (прогноз) описывается линейной регрессией:

$$W_{omn} = 20,875 \cdot t - 51,23, \quad (1)$$

где  $t$  – интервал времени прогноза, для сентября 2022 года  $t = 720$  ч.

Согласно выражению (1) отпуск электрической энергии в сеть составит:

$$W_{omn} = 20,875 \cdot 720 - 51,23 = 14978,77 \text{ кВт·ч.}$$

Относительная погрешность прогнозируемого значения потребления электрической энергии:

$$\delta = \frac{W_{omn} - W_{omn.факт}}{W_{omn.факт}} \cdot 100 \%. \quad (2)$$

По данным прибора технического учета отпуск электрической энергии в рассматриваемую сеть за сентябрь 2022 года составил  $W_{omn.факт} = 14456,104$  кВт·ч. В этом случае относительная ошибка прогноза составляет:

$$\delta = \frac{14978,770 - 14456,104}{14456,104} \cdot 100 = 3,62 \%.$$

Структура простейшей нейронной сети (персептрона) для среднесрочного прогноза потребления электрической энергии представлена на рисунке 3 [5]. Персептрон состоит из двух входов  $X_1 = t$  и  $X_2 = 1$ , синапсов, имеющих веса  $w_1$  и  $w_2$ , нейрона в котором происходит суммирование входных величин с учетом их весового коэффициента и одного аксона (выход).

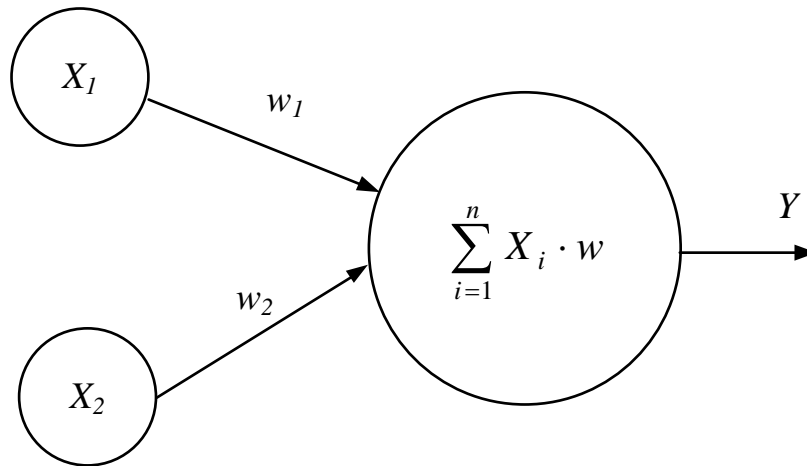


Рис. 3. Структура простейшей нейронной сети.

Обучение нейронной сети с учителем выполнялось на данных расхода электрической энергии в день контрольных замеров. Изменение весовых коэффициентов в процессе обучения и ошибки месячного прогноза потребления представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Значения весовых коэффициентов нейронной сети и ошибки прогноза**

Шаг обучения	$w_1$	$w_2$	$\delta, \%$
1	13,648	1,452	-32,013
2	13,436	1,665	-33,070
3	15,224	-0,123	-24,178
4	15,930	-0,829	-20,664
5	16,254	-1,153	-19,053
6	17,128	-2,027	-14,706
7	18,107	-3,007	-9,835
8	19,760	-4,660	-1,614
9	20,197	-5,096	0,558
10	20,675	-5,574	2,937

На девятом шаге обучения получено минимальное значение относительной погрешности прогнозируемого значения отпуска электрической энергии в рассматриваемую электрическую сеть. Оптимальные весовые коэффициенты обученной нейронной сети  $w_1 = 20,197$  и  $w_2 = -5,096$ . В этом случае прогнозируемое значение отпуска составляет  $W_{opt} = 14536,732$  кВт·ч.

В ходе обзора традиционных и нейросетевых методов прогнозирования электрической нагрузки показано, что применение нейронных сетей при точной настройке (обучении) дает более точный прогноз величины потребления электрической энергии, чем статистическое прогнозирование. Погрешность статистического прогноза при использовании линейной регрессии (тренда) на 3,06% больше прогноза нейронной сети. Для увеличения точности статистического прогноза используется полиномиальная регрессия. Применение нейронных сетей оправдано при долгосрочных и перспективных прогнозах, т.к. существует возможность учета множества факторов (погодные условия, время года, праздничные дни и др.), от которых зависит величина потребления электрической энергии. Однако формирование и обучение многоуровневых нейронных структур с большим количеством входов сложный и трудоемкий процесс, требующий больших объемов статистических данных. При оперативном и краткосрочном прогнозе целесообразней применять традиционные методы т.к. они менее трудоемки при сопоставимых результатах в случае применения полиномиальной регрессии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Билалова А. И. Прогнозирование потребления электрической энергии электротехническим комплексом городской электрической сети: дисс. ... канд. техн. наук. – Самара, 2019. – 166 с.
2. Манусов В. З., Родыгина С. В. Нейронные сети: прогнозирование электрической нагрузки и потерь мощности в электрических сетях. От романтики к прагматике: монография. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2018. – 303 с.
3. Полуянович Н. К., Дубяго М. Н., Азаров Н. В., Огреничев А. В. Нейросетевой метод в задачах прогнозирования электропотребления в электроэнергетической системе // Математические методы в технологиях и технике. – 2022. – № 1. – С. 114–118.
4. Распоряжение главы Республики Мордовия № 237-РГ от 30 апреля 2020 года «Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетики Республики Мордовия на 2021 – 2025 годы»: Кодекс: Электронный фонд правовой и

нормативно–технической документации: сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/570924817> (дата обращения: 03.11.2022).

5. Сергеев А. П., Тарасов Д. А. Введение в нейросетевое моделирование: учеб. пособие; под общ. ред. А. П. Сергеева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 128 с.