

# ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.31

**БЕЛОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: sbelov-@mail.ru

**ПЕТРОВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ**

E-mail: petrov\_ps@inbox.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ ОТКЛЮЧЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ 35-220 КВ

Надежность сети 35-220 кВ имеет огромное значение для потребителей. Зачастую эти электрические сети взаимно резервируемы, но не исключены случаи одновременного совпадения двух аварийных ситуаций на основной и резервной линиях, что подтверждает важность прогноза надежности. Результаты прогнозирования количества аварийных отключений в электрических сетях являются важной информацией для энергетиков, анализ которых приводит к принятию дополнительных мер по повышению надежности электрических сетей, а также получению информации о своевременной замене или модернизации оборудования. Проанализированы статистические данные по количеству отключений в Москве за 8 лет. Рассмотрены наиболее актуальные способы прогнозирования количества аварийных отключений в электрических сетях: интерполяция временных рядов, математическое ожидание, авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего. Произведен сравнительный анализ данных. В результате установлено, что методы прогнозирования имеют следующие погрешности: интерполяция – 16,2%, математическое ожидание – 31,2% и авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего – 20,6%. Выбран наиболее точный метод – интерполяция временных рядов. С помощью данного метода произведен прогноз количества аварийных отключений в Москве на 2017-2018 гг. Также с помощью одномерного анализа Фурье и автокорреляционного анализа данных по числу аварийных отключений за 2009-2016 гг. показано наличие сезонности, равной 12 месяцам. Анализ сезонности возникновения аварий выявил закономерность – увеличение количества аварий в 2...3 раза в летний период относительно зимнего. Это связано с более тяжелыми условиями эксплуатации сетей, вызванными жарой и повышенной нагрузкой на электрическую сеть (кондиционеры). Оценка на перспективу состояния надежности электрических сетей 35-220 кВ позволит по необходимости применить различные мероприятия, направленные на снижение количества отказов.

**Ключевые слова:** электрические сети, надежность, прогнозирование, сезонность, аварийное отключение, интерполяция, математическое ожидание.

**Введение.** В настоящее время наиболее востребованными методами прогнозирования являются методы, основанные на интерполяции временных рядов отказов ВЛ 35-220 кВ, математическом ожидании отказов и на авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (АРПСС). Основой данных методов является анализ фактических данных прошлого состояния исследуемого объекта и распространения тенденции прошлого для прогноза экономических и технических параметров электрических сетей высокого напряжения на будущее.

Применение этих методов целесообразно для прогнозирования показателей надежности воздушных и кабельных линий. Сложность прогнозирования данных параметров заключается в непредсказуемости внешних параметров, таких как природные явления (резкое изменение температуры и влажности, переход с минусовой на плюсовую температуру и обратно, гололед, сильный ветер, паводок, гроза и др.) и человеческий фактор (непредсказуемость действий человека относительно электросетевого объекта) [1-2].

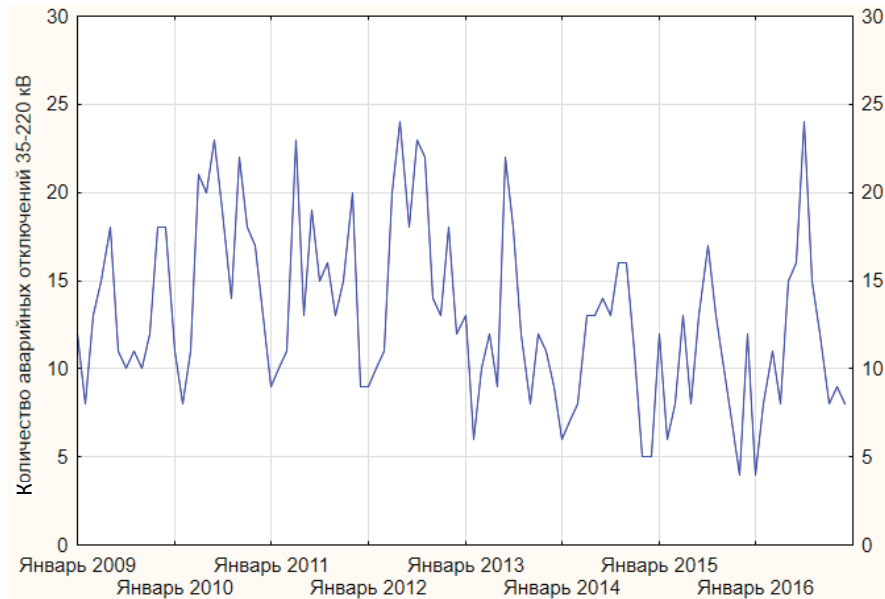
**Цель исследования** – прогнозирование количества аварийных отключений и анализ наличия сезонности в электрических сетях 35-220 кВ современными методами.

**Материал и методы.** На основе статистических данных по электрическим сетям 35-220 кВ с помощью программ Microsoft Excel 2016, Statistica 12 произведен прогноз количества аварийных отключений.

**Результаты исследований.** Для оценки точности прогноза и погрешности каждого из методов сравнили действительные значения с прогнозными

на основе данных количества отключений в Москве за 2009-2015 гг. и первое полугодие 2016 г. На графике (рис. 1) приведены фактические данные за прошедший период.

Результаты расчета прогнозного количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве для второго полугодия 2016 г. приведены в таблице 1. Сравнение фактических и прогнозных значений за второе полугодие 2016 г. дает возможность оценить точность используемых методов (табл. 1, 2).



**Рис. 1. Количество аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве за 2009-2016 гг.**

*Таблица 1*

**Результаты прогнозирования количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве на июль – декабрь 2016 г.**

Период	Метод прогнозирования			
	истинные данные	интерполяция	математическое ожидание	АРПСС
Июль 2016	24	14,9	16,4	15,0
Август 2016	15	12,5	14,9	13,7
Сентябрь 2016	12	10,3	13,3	12,2
Октябрь 2016	8	9,0	12,6	11,0
Ноябрь 2016	9	8,9	13,3	9,7
Декабрь 2016	8	9,2	11,1	10,5

Интерполяционный метод заключается в приблизительном расчете интервала недостающего значения, находящегося внутри динамического ряда. Это означает, что отсутствующая точка вычисляется как взвешенное среднее соседних то-

чек. Интерполяция основывается на предположении, что тенденция (закономерность), выявленная для изучаемого периода времени, сохранится на какое-то время в будущем [3-4]. Расчет производился в программе Microsoft Excel 2016.

Таблица 2

**Погрешность методов прогнозирования количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве на июль – декабрь 2016 г.**

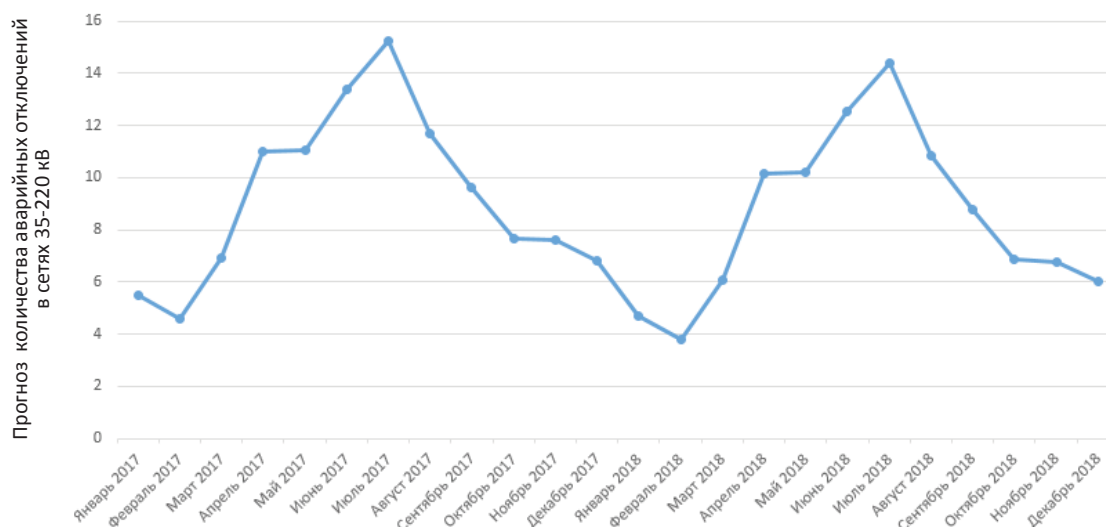
Период	Погрешность,% от истинного значения		
	интерполяция	математическое ожидание	АРПСС
Июль 2016	37,9	31,5	37,5
Август 2016	16,5	1,0	8,4
Сентябрь 2016	14,4	10,7	1,7
Октябрь 2016	12,7	57,1	37,2
Ноябрь 2016	1,4	47,6	7,6
Декабрь 2016	14,4	39,3	31,4
Общая погрешность,%	16,2	31,2	20,6

Метод математического ожидания основан на вероятностных величинах и математическом ожидании. Это самый простой и наглядный способ прогнозирования по имеющимся статистическим данным, в котором производится расчет среднего арифметического значения каждого месяца за 2009-2015 гг.

Третий метод – метод АРПСС (авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего), т.е. это интегрированная модель авторегрессии скользящего среднего. В его основу положена модель и методология анализа временных рядов. Подход *ARIMA* к временным рядам заключается в том, что в первую очередь оценивается стационарность ряда. Различными тестами выявляются наличие единичных корней и порядок интегрирования временного ряда (обычно ограничиваются первым или вторым порядком). Далее, при необ-

ходимости (если порядок интегрирования больше нуля), ряд преобразуется разностью соответствующего порядка и на основе преобразованной модели строится новая модель. Это одна из наиболее популярных моделей для построения краткосрочных прогнозов [5-6].

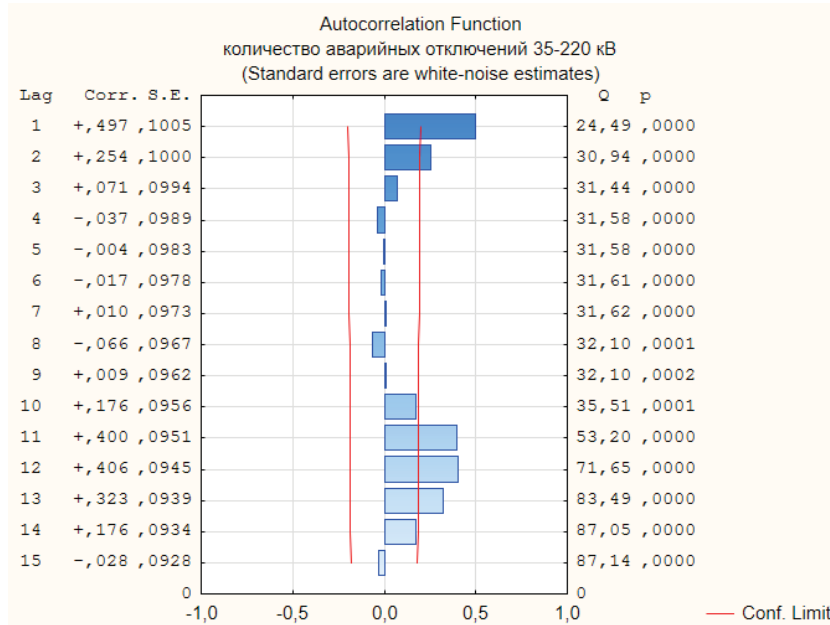
На основании расчетов, представленных в таблице 2, наименьшая погрешность наблюдается при интерполировании. Погрешность данного метода оценивается ориентировочно с учетом большого числа внешних неопределенных факторов, действующих на элементы электрических сетей. На основании метода интерполяции по имеющимся данным количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве за 2009-2016 гг. сделан прогноз количества отказов на 2017-2018 гг. в программе Microsoft Excel 2016. Полученный результат приведен на графике (рис. 2).



**Рис. 2. Прогноз количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ г. Москвы на 2017-2018 гг.**

Далее произведен анализ полученных результатов на наличие сезонной зависимости количества отказов в течение прогнозируемого года. Для этого использовалась программа Statistica 12. Результат обработки данных с помощью автокорреляционного анализа представлен на графике (рис. 3).

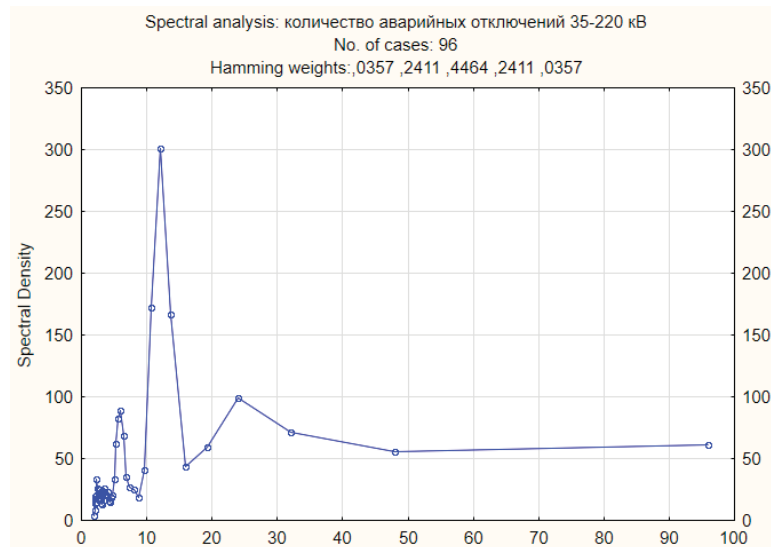
Как следует из графика автокорреляционной функции, коэффициент корреляции высокий для значения лага, равного единице, затем он убывает и снова возрастает. Очередной локальный максимум приходится на значение лага, равного 12. Это означает, что в данных присутствует сезонность, значение которой равно 12. То есть 12 месяцев, или один год.



**Рис. 3. Автокорреляционный анализ количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве за 2009-2016 гг.**

Чтобы убедиться, что сезонность влияет на число отказов, применен еще один метод. Результат обработки данных об отказах с помощью одномерного

анализа Фурье представлен на графике (рис. 4). Данный метод показывает влияние дополнительных сезонностей на число отказов.



**Рис. 4. Одномерный анализ Фурье количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ в Москве за 2009-2016 гг.**

В результате расчета был получен график спектральной плотности на год. Из графика (рис. 4) следует, что абсолютный максимум достигается в точке 12, что соответствует основной сезонности. Также видно, что в данных присутствует сезонность, равная 6 и 24 месяцам. Но значения спектральной плотности в этих точках значительно ниже, и можно заключить, что сезонность со значением 12 влияет на данные значительно больше, чем сезонность со значением 6 и 24. Этот метод дополнительно доказывает, что количество аварийных отключений имеет периодическую зависимость, равную 12 месяцам.

### Выводы

В работе были представлены актуальные методы прогнозирования, произведен анализ данных методов и выбран наиболее точный, основанный на интерполяции временных рядов отказов ЛЭП 35-220 кВ. С помощью интерполирования произведен прогноз количества аварийных отключений на 2017-2018 гг. С помощью метода автокорреляции и одномерного анализа Фурье выявлена сезонность количества аварийных отключений в сетях 35-220 кВ, равная 12 месяцам. Это обусловлено климатическими особенностями местности, в которой расположены данные электрические сети. Анализируя данные, можно увидеть закономерность, которая заключается в увеличении количества аварий в 2...3 раза в летний период относи-

тельно зимнего. Это связано с более тяжелыми условиями эксплуатации сетей, вызванными жарой и повышенной нагрузкой на электрическую сеть (кондиционеры).

Таким образом, спрогнозировано количество аварийных отключений в электрических сетях 35-220 кВ по г. Москве на 2017-2018 гг. и их сезонные отклонения.

### Библиографический список

1. Лещинская Т.Б., Наумов И.В. Электроснабжение сельского хозяйства. М.: БИБКМ, Транслог, 2015. 656 с.
2. Шайкина Е.В., Уколова А.В. Эконометрика. Курс лекций. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2009. 119 с.
3. Тарасова О.Б., Шайкина Е.В., Шибалкин А.Е., Кагирова М.В. Математическая статистика: Практикум. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. 143 с.
4. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики. М.: Финансы и статистика, 2002. 480 с.
5. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики. Т. 2. М.: Юнити-Дана, 2001. 432 с.
6. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс. М.: Дело, 2007. 504 с.

*Статья поступила 14.05.2017*

## FORECASTING EMERGENCY DISCONNECTIONS IN POWER NETWORKS OF 35-220 KV

**SERGEY I. BELOV**, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: sbelov@mail.ru

**PAVEL S. PETROV**

E-mail: petrov\_ps@inbox.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

The reliability of the 35-220 kV network is of great importance for consumers. Often, these electrical networks are mutually redundant, but there can also be cases of simultaneous coincidence of two emergency situations on the main and backup lines, which confirms the importance of the reliability forecast. The results of predicting the number of emergency outages in electrical networks represent a kind of important information for power engineers, the analysis of which leads to taking additional measures to increase the reliability of power networks, as well as obtaining information on timely replacement or upgrading of the applied equipment. The authors have analyzed statistical data on the number of outages in Moscow for 8 years and considered the most effective ways of forecasting the number of emergency outages in electric networks, such as the interpolation of time series, mathematical expectation, autoregression of the integrated moving average. A comparative analysis of the data has been also carried out. As a result, it has been found that the forecasting methods have the following errors: interpolation – 16.2%, mathematical expectation – 31.2% and autoregression of the integrated moving average – 20.6%. The authors have found the interpolation of time series to be most accurate

method. With the help of this method, they have made a forecast of the number of emergency outages in Moscow for 2017-2018. Using one-dimensional Fourier analysis and autocorrelation analysis of data on the number of emergency outages for 2009-2016, they have also determined the presence of seasonality equalling to 12 months. The seasonality analysis of the accident occurrence has revealed a regularity – an increase in the number of accidents in 2...3 times in summer as compared to winter. This is due to heavier operating conditions of the networks caused by heat and an increased load on the power network (air conditioners). The long-term assessment of the reliability of 35-220 kV electric power networks will make it possible, if necessary, to apply various measures aimed at reducing the number of failures.

**Key words:** electrical networks, reliability, forecasting, seasonality, emergency shutdown, interpolation, mathematical expectation.

### References

1. Leshchinskaya T.B., Naumov I.V. *Elektrosnabzheniye sel'skogo khozyaystva* [Electricity supply of farm industry]. Moscow, BIBKOM, Translog, 2015, 656 p. (In Rus.)
2. Shaykina Ye.V., Ukolova A.V. *Ekonometrika. Kurs lektsiy* [Econometrics. Lecture course]. Moscow, RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2009, 119 p. (In Rus.)
3. Tarasova O.B., Shaykina Ye.V., Shibalkin A. Ye., Kagirowa M.V. *Matematicheskaya statistika: Praktikum* [Mathematical statistics: Practical course]. Moscow, RGAU-MSKhA imeni K.A. Timiryazeva, 2011, 143 p. (In Rus.)
4. Yeliseyeva I.I., Yuzbashev M.M. *Obshchaya teoriya statistiki* [General theory of statistics]. Moscow, Finansy i statistika, 2002, 480 p. (In Rus.)
5. Ayvazyan S.A. *Prikladnaya statistika. Osnovy ekonometriki* [Applied statistics. Fundamentals of econometrics]. Vol. 2. Moscow, Yuniti-Dana, 2001, 432 p. (In Rus.)
6. Magnus YA.R., Katyshev P.K., Peresetskiy A.A. *Ekonometrika. Nachal'nyy kurs* [Econometrics. The basic course]. Moscow, Delo, 2007, 504 p. (In Rus.)

*Received on May 14, 2017*