

Kursky A.A. Mathematical modeling of power line outages statistics 110 kV for unexplained reasons
Математическое моделирование статистики отключений линий электропередач 110 кВ по
невыясненным причинам

Kursky A.A.

Volgograd State Agrarian University, Volgograd

Курский А.А.

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград

***Abstract.** The article presents the results of mathematical modeling of the statistics of blackouts of overhead power lines VL-110kV for unknown reasons (SNP) using the methods of multiple correlation and regression analysis, the parameters of the mathematical model are found for the dependence of the number of SNPs on wind speed and air humidity, a forecast is made for specific meteorological conditions Volgograd.*

***Keywords:** overhead power lines, blackouts statistics, correlation analysis, regression analysis, forecast.*

***Аннотация.** В статье приводятся результаты математического моделирования статистики отключений воздушных линий электропередач ВЛ-110кВ по невыясненным причинам (ОНП) с использованием методов множественного корреляционного и регрессионного анализа, найдены параметры математической модели для зависимости количества ОНП от скорости ветра и влажности воздуха, выполнен прогноз для конкретных метеоусловий г.Волгограда.*

***Ключевые слова:** воздушные линии электропередач, статистика отключений, корреляционный анализ, регрессионный анализ, прогноз.*

Проблема аварийных отключений воздушных линий электропередач 110кВ (далее - ВЛ -110кВ) имеет очень длительную историю в мире и особенно актуальна для России, имеющей большую протяженность линий ВЛ -110кВ. В некоторых регионах РФ проводились исследования различных причин отключений ВЛ-110кВ с целью разработки мероприятий по сокращению их числа [1-4]. Так в работе [1] выполнен анализ отключений линий электропередач ВЛ-110кВ в Кемеровском районе, в [2] выполнено исследование и математическое моделирование статистических данных по количеству отключений ВЛ-110кВ в Алтайском крае, в работах [3,4] выполнен статистический анализ причин отключений ВЛ-110кВ в Тюменской области, Среди множества причин отключений ВЛ -110кВ исследователям удалось точно идентифицировать некоторые из них (например, загрязнение изоляции [1-3]). Но есть и такая категория причин, которые условно называют «отключения по невыясненным причинам» (далее – ОНП), доля которых как в России, так и в мире может достигать 50% от общего числа отключений [4]. Поэтому научные исследования для выяснения реальных причин таких ОНП и формирования для них статистики необходимо продолжать.

Для математического моделирования и обработки статистики отключений ВЛ-110кВ обычно используют такой относительный показатель как «вероятность отключения линии электропередач» $P, \%$ [3-4], который представляет отношение числа отключений по какой-либо причине к общему числу отключений. Известны такие зависимости, которые опубликованы, в частности, в работах [1-4].

Однако такой подход не позволяет установить влияние нескольких причин на общее количество отключений и тем самым не позволяет проводить прогнозирование статистики отключений для определенного состояния линий электропередач и конкретных метеоусловий для каждой местности.

Вместе с тем, в настоящее время разработано много эффективных методов для обработки статистических данных, которые успешно используются в различных сферах научной и инженерной деятельности [5-9]. Однако большинство из этих методов, к сожалению, не нашло широкого применения в

инженерной практике, в частности, в исследованиях по математическому моделированию электроснабжения агропромышленных объектов [8].

Среди статистических методов следует выделить такой широко известный метод математического моделирования как множественный корреляционный и регрессионный анализ, который позволяет решить несколько задач [5]:

1. из всего многообразия причин выделить самые значимые причины, которые и формируют общую статистику явления;
2. сформировать математическую модель для описания явления;
3. выполнить прогнозирование для конкретных условий функционирования объекта или явления.

Таким образом, целью настоящей работы являлось математическое моделирование количества ОНП с использованием методов корреляционного и регрессионного анализа.

Для анализа статистики ОНП ВЛ-110кВ были использованы статистические данные из работы [3]. Среди всех причин ОНП выбраны три причины, характеризующие метеоусловия: X1 – скорость ветра, м/с; X2 – относительная влажность, % (отношение текущей абсолютной влажности к максимальной абсолютной влажности при данной температуре); X3 – перепад температуры до отключения, °С. В качестве результирующей величины выбрана величина P,% – относительное количество отключений. Все выбранные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вероятность ОНП ВЛ-110 кВ при различных метеоусловиях [3] и прогнозные значения по модели (2).

P,%	Скорость ветра, X1	Относительная влажность, X2	Перепад температуры, X3	Расчет P,% по модели (2)
10	1	84	-5	8,5
10	1,1	84	2	8,8
15	1,3	86	-4,8	16,8
15	1,6	86	1,2	17,7
20	1,8	86,8	-4	21,2
20	2	86,8	0,3	21,8
25	2,1	87,2	-3,2	23,6
25	2,3	87,2	-0,3	24,1
30	2,4	88,1	-2	27,8
30	2,6	88,1	-2	28,3
35	3,9	88,9	-1,5	35,1
35	4,2	88,9	-1,5	36,0

С использованием данных из таблицы 1, прежде всего, был выполнен множественный корреляционный анализ средствами MS Excel, который показал, что причина X3 (– перепад температуры до отключения) имеет низкое значение частного коэффициента корреляции и, следовательно, не оказывает существенного влияния на результирующую величину P,%. Исключив данную причину из дальнейшего исследования, вновь был выполнен множественный корреляционный анализ, который позволил получить значения частных коэффициентов, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения частных коэффициентов корреляции

	Скорость ветра, X1	Относительная влажность, X2	P, %
Скорость ветра, X1	1,000		
Относительная влажность, X2	0,894	1,000	
P, %	0,935	0,972	1,000

Как видно из полученных значений, такие две причины как X1 (скорость ветра) и X2 (относительная влажность) оказывают сильное влияние на количество отключений P,%, так как их частные коэффициенты корреляции равны 0,894 и 0,935, соответственно. Кроме того, вычисленный множественный коэффициент корреляции оказался очень высоким и равным 0,983, что свидетельствует о том, что обе эти причины совместно оказывают сильное воздействие на результирующую величину P,%. Поэтому можно сформировать двухфакторную регрессионную модель в следующем виде:

$$P, \% = P_0 + k_1 * X_1 + k_2 * X_2 \quad (1)$$

Коэффициенты k1 и k2, а также параметр P0 были найдены средствами MS Excel методами множественного регрессионного анализа и сведены в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты регрессионного анализа

	Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	p-Значение
P0	-304,092	62,914	-4,833	0,001
X1	2,924	1,224	2,389	0,041
X2	3,687	0,752	4,903	0,001

Как видно из полученных данных найденные значения коэффициентов k1 и k2, а также параметра P0, статистически значимы на уровне значимости $p < 0,05$ и поэтому все они являются параметрами двухфакторной математической модели (1). Поэтому сама математическая модель (1) может быть записана в следующем виде:

$$P, \% = -304,092 + 2,924 * X_1 + 3,687 * X_2 \quad (2)$$

Далее с помощью зависимости (2) был выполнен расчет прогнозных значений вероятности P,%, результаты которого приведены в таблице 1. Как видно из сравнения реальных значений с прогнозными значениями вероятности ОНП, рассчитанными по модели (2), имеет место хорошее соответствие. Для оценки качества найденной математической модели была выбрана относительная ошибка E_{отн.}, которая была рассчитана по следующей формуле:

$$E_{отн.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon}{P_i} * 100\%, \quad (3)$$

где n – число измерений, ε – модуль абсолютной ошибки, P_i – реальная вероятность отключения.

Расчеты показали, что для модели (2) относительная ошибка $E_{отн.} = 8,1\%$, что вполне приемлемо для инженерной практики. Поэтому математическая модель в виде зависимости (2) может быть использована на практике для оценки вероятности ОНП для метеоусловий конкретной местности.

Так, например, в Волгограде согласно многолетним метеонаблюдениям [10] в ноябре относительная влажность составляет $X_2 = 89\%$, а скорость ветра $X_1 = 52$ м/с. С учетом этих значений расчет по зависимости (2) дает значение вероятности отключения по невыясненным причинам $P, \% = 39\%$, что соответствует реальным данным из работ [3,4].

Таким образом, в результате математического моделирования статистики ОНП методами множественного корреляционного и регрессионного анализа найдена двухфакторная математическая модель, которая позволяет оценивать вероятность отключения по невыясненным условиям в зависимости от значения скорости ветра и относительной влажности в конкретной местности.

References

1. Сарычев И.В. Анализ отключений в электрических сетях Кемеровского района// Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2005, -№1. -С.88-91.
2. Черкасова Н.И. Анализ состояния сельских электрических сетей 10кВ в свете мониторинга отказов//Ползуновский вестник. – 2012. - №4. – С.49-54.
3. Боровицкий В.Г. Исследование причин немотивированных отключений ВЛ 110 кВ и разработка рекомендаций по снижению их числа: дис. ...канд. технических наук: 05.14.02: защищена 12.02.2013: утв. 24.09.2013. – Новосибирск. 2013. – 201 с.
4. Гайворонский А.В., Котов С.П., Боровицкий В.Г. Аварийные отключения ВЛ 110 кВ//Новости электротехники, 2019. - №2(116). – с.1-11.
5. Халафян, А.А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных, 3-е изд. Учебник [Текст] / А.А. Халафян. – М.:ООО «Бином-Пресс», 2007. – 512 с.
6. Дарманян А.П. Использование показателей описательной статистики для характеристики эмпирических выборок макроэкономических индикаторов//Экономика региона, 2013. - №2(34). – С.157-163.
7. Курский А.А. Исследование причин отказов воздушных линий 110кВ с использованием принципа Парето//Сб.науч. статей 10-ой Межд. научн. конф. (31 октября 2019), Казань, 2019. – Ч 1.- С.51-54.
8. Дарманян А.П., Веселова Н.М. Научная значимость статистических методов анализа экспериментальных данных в системе послевузовского аграрного образования. Актуальные вопросы профессионального образования, 2018. - № 3(12). - С.33-37.
9. Дарманян А.П., Веселова Н.М., Нехорошев Д.Д., Мороз В.П. Анализ статистики пожаров с использованием математических и статистических методов// Безопасность жизнедеятельности, 2019. - №2. –С.53-58.
10. Погода в Волгограде [Электронный ресурс]. – URL: <http://weatherarchive.ru/Pogoda/Volgograd> (Дата обращения: 18.10.2019)