

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

И.В. Наумов, Я.М. Иваньо, А.В. Ланин, А.В. Мищенко

Разработанное программное обеспечение «Прогноз – 2+» позволяет прогнозировать количество отказов в системе электроснабжения с периодом упреждения, равным одному году. При этом в программе реализована возможность пополнения и редактирования базы данных по отказам, по мере поступления новой статистической информации. Применение программного обеспечения «Прогноз – 2+» рассмотрено на примере статистической информации об отказах в сельских электрических сетях 10 кВ Иркутской области.

Ключевые слова: прогнозирование, надёжность, электрические сети, воздушные линии электропередачи, провода, опоры, отказы, обслуживание, программное обеспечение.

Сельские распределительные электрические сети обладают высокой аварийностью, особенно отчётливо проявляющейся в электрических сетях 10 кВ, это обусловлено их рассредоточенностью на обширных территориях, низкой наблюдаемостью и влиянием на них погодных факторов (ветер, осадки, грозы и т.д.). Основными причинами возникновения отказов электроснабжения являются повреждения элементов электрических сетей. В связи с этим, важное значение приобретает прогнозирование уровня надёжности электрических сетей 10 кВ сельского назначения, на основании которого с достаточной вероятностью можно предсказать изменение уровня надёжности электроснабжения рассматриваемого участка электроэнергетической системы. Это позволит разработать комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на минимизацию возможных рисков, связанных с перерывами электроснабжения.

Математическое моделирование, прогнозирование и оценка состояния сложных технических систем, включая системы электроснабжения, подразумевает использование достаточно ёмкого математического аппарата, состоящего из ряда формул и логических уравнений. Безусловно, чтобы получить прогноз количества отказов в электрических сетях 10 кВ на основе имеющейся информации с помощью моделей вероятностного прогнозирования с учётом и без учёта коэффициента автокорреляции, необходимо знать их математический аппарат, а также проделать большое количество расчётов [1, 2]. Таким образом, использование методов статистического и вероятностного прогнозирования в чисто математическом виде, персоналом электросетевых компаний весьма трудоёмкое

и затратное по времени. Поэтому было создано программное обеспечение «Прогноз – 2+», которое может автоматически рассчитывать прогнозные значения количества отказов, на основании обработки текущей информации из диспетчерских журналов. При этом используется алгоритм, основанный на синтезе математических моделей вероятностного и статистического прогнозирования [3].

Программа «Прогноз – 2+» написана на языке Delphi версии 7 фирмы Borland. Версия программы 1.0.

Задачи, решаемые с помощью программы:

1. Хранение информации о количестве отказов, времени восстановления и величине потерь напряжения для линий 10 кВ, а также возможность классифицировать информацию об отказах по причинам их возникновения.
2. Возможность добавления новой информации (по мере её поступления) к уже имеющейся.
3. Выбор интервала времени, на основании которого делается прогноз.
4. Выбор причины, вызвавшей отказы распределительной электрической сети, для которой впоследствии делается прогноз числа отказов и времени восстановления.
5. Расчёт процентного распределения числа отказов по месяцам за выбранный интервал времени.
6. Расчёт частоты возникновения отказов
7. Построение гистограммы с наложенной теоретической кривой функции плотности распределения отказов, данная гистограмма иллюстрирует закон распределения плотности вероятности возникновения отказов и времени восстановления.

8. Определение статистических характеристик рассматриваемой выборки и параметров закона распределения.

9. Получение прогноза числа отказов и времени восстановления для выборок со значимым коэффициентом автокорреляции.

10. Получение прогноза числа отказов и времени восстановления для выборок с отсутствием автокорреляции.

11. Получение прогнозных значений количества отказов на основе информации о величине потерь напряжения в линиях 10 кВ.

12. Построение прогнозных графиков количества отказов, времени восстановления и величины потерь напряжения для линий 10 кВ.

13. Построение сводных графиков, позволяющих сравнивать прогнозные

для разных линий электропередачи и для различных причин повреждения и отказа ВЛ 10 кВ.

14. Возможность копирования графиков и значений, рассчитанных в программе в текстовые документы MS Word.

В качестве примера реализации программного средства рассмотрим прогнозирование уровня отказов ВЛЭП напряжением 10 кВ на примере Восточных электрических сетей Иркутской электросетевой компании (ВЭС ИЭСК) общей протяжённостью 8,6 тыс. километров. Данные по отказам элементов ВЛ (а именно «повреждение провода» и повреждение опоры») приняты на основании анализа диспетчерских журналов ОАО ИЭСК [4]. Информация об отказах этих элементов представлена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 - Количество аварийных отключений по причине повреждения проводов (2004 г. - 2013 г.)

Месяцы	Количество аварийных отключений по причине повреждения проводов (2004 г. -2013 г.)									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	4	4	14	10	10	1	7	5	3	2
2	0	0	9	5	4	3	6	5	1	1
3	10	10	6	6	7	6	0	0	3	2
4	26	29	5	13	28	20	1	15	7	3
5	14	15	17	60	17	37	3	5	5	10
6	17	3	13	7	19	13	9	17	4	15
7	14	9	9	14	11	11	3	13	5	6
8	14	5	28	12	23	11	0	4	4	13
9	6	3	12	5	4	32	0	3	6	5
10	9	16	11	6	5	3	0	6	2	8
11	6	4	3	9	9	6	4	2	1	4
12	2	19	4	3	2	17	17	6	6	6

Таблица 2 - Количество аварийных отключений по причине повреждения опор (2004 г. - 2013 г.)

Месяцы	Количество отказов по причине повреждения опор (2004 г. -2013 г.)									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
1	0	0	1	1	1	0	2	0	0	2
2	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0
3	4	1	0	1	1	1	1	0	1	0
4	5	5	1	6	10	8	2	2	12	2
5	2	1	12	11	12	9	5	1	6	5
6	12	8	12	5	6	8	3	6	6	4
7	6	5	8	3	5	6	6	6	6	3
8	4	5	12	2	8	4	1	2	3	3
9	2	2	1	2	1	7	0	1	2	6
10	1	6	6	0	2	2	1	0	1	1
11	2	0	1	2	2	0	1	0	1	1
12	1	1	1	1	0	1	5	0	1	0

Анализ полученных данных позволил установить, что среднее количество отказов по причине повреждения провода составило (по годам с 2004 по 2013): 2004-10,2; 2005 - 9,8; 2006-9,4; 2007-12,5; 2008-11,6; 2009-13,3; 2010-4,2; 2011-6,8; 2012-3,9; 2013-6,3. Таким образом, наибольшее количество поврежде-

ний приходится на 2009 год - 15,1 % от всего количества отказов за 10 лет наблюдений, а наименьшее количество отказов соответственно приходится на 2012 год - 4,4 % от общего количества. При этом наибольшее число повреждений приходится на май 18,3 отказа, что составило 19,6 % от всего количе-

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

ства отказов за этот месяц в течение 10 лет, а наименьшее - 3,4 отказа (3,6 %) приходится на февраль. Если рассмотреть по годам, то наибольшее количество отказов этого элемента ВЛ пришлось на май 2007 года - 60 отказов (32,8 % от общего числа). При этом полностью отсутствовало повреждение ЛЭП в феврале 2004 и 2005 г.г., а также в марте 2010 и 2011 г.г. и с августа по октябрь 2010 г.

Аналогично проведён анализ отказов на исследуемой ЛЭП по причине «повреждение опоры». В результате установлено следующее: среднее количество отказов по этой причине по годам составило: 2004-3,3; 2005-3,2; 2006-4,8; 2007-2,9; 2008-4,08; 2009-3,8; 2010-2,3; 2011-1,6; 2012-3,3; 2013-2,3. Таким образом, наибольшее количество отказов приходится на 2006 год - 15,2 % от общего числа повреждений, а наименьшее - на 2011 год - 5,1 % от общего числа.

При этом наибольшее число повреждённых опор приходится на июнь месяц - 70 повреждений (20,1 %), а наименьшее - на февраль - 5 повреждений (1,4 % от общего числа). Следует отметить, что полностью отсутствовало повреждение опор в январе 2004 и 2005 г.г., 2009, 2011 и 2012 г.г., феврале 2004 и 2005 г.г., 2009 и 2010 г.г., марте 2006 и 2011 г.г., сентябре 2010 г., октябре 2007 и 2011 г.г., ноябре 2005, 2009 и 2011 г.г., а также декабря 2008, 2011 и 2013 г.г.

Полученные данные по повреждениям послужили основой для создания прогнозной модели поведения исследуемой ЛЭП в 2014 году. Работа самой программы достаточно подробно описана в [5].

После того как заданы все значения и выбраны соответствующие характеристики, программа рассчитывает и выводит результаты прогнозирования в соответствующее окно (рисунки 1, 2). Представлены характеристики для двух рассматриваемых причин: «повреждение провода» и «повреждение опоры». При этом для первого случая рассчитаны и показаны: коэффициент автокорреляции первого порядка r_1 ; параметр распределения (в данном случае экспоненциального) λ ; квантиль плотности распределения с доверительной вероятностью 0,95 (прогноз на месяц следующего года с максимальным числом отказов) P ; таблица частот возникновения отказов по причине повреждения проводов ВЛ 10 кВ; графическое отображение подобранного закона распределения плотности вероятности; таблица с рассчитанным процентным распределением числа отказов по месяцам за выбранный интервал времени (в нашем случае с 2004 по 2013 год)

и прогнозными значениями на 2014 год, по месяцам; график изменения количества отказов во времени, прогнозные значения выделены красным цветом. Для причины «повреждение опоры», помимо вышеперечисленных, отражаются дополнительные характеристики: среднее арифметическое, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации, несмещённый коэффициент, средняя квадратичная погрешность. Это связано с тем, что при расчёте прогноза для данной причины учитывался коэффициент автокорреляции первого порядка $r_1=0,4488$ [5]. Анализ рисунков 1 и 2 показал следующее. Для отказов элементов ВЛ по причине «повреждение провода» установлено, что общее количество отказов в 2014 году составит 157, что практически соответствует максимальному уровню отказов этого элемента в 2009 году и почти на 70 % выше, чем минимальное количество отказов в 2012 году.

При этом распределение отказов по месяцам года, по сравнению со средним значением отказов за предыдущий период, выглядит следующим образом. В январе 2014 г. количество отказов увеличивается на 33 % в феврале - на 32 %, в марте - на 29 %, в апреле - на 30 %, в мае - на 32 %, в июне - на 31 %, в июле - на 32 %, в августе - на 33 %, в сентябре на 31 %, в октябре - на 24 %, в ноябре - на 31 %, в декабре - на 32 %. В целом, повреждаемость провода ВЛ в 2014 году возрастёт (по сравнению с повреждаемостью за период 2004 - 2013 г.г.) в среднем на 31 %.

Поскольку, по данным [4] основной причиной повреждаемости проводов на исследуемых ВЛ является «схлест» фазных проводов под действием ветровой нагрузки, приводящий к неустойчивому повреждению (до 60 % всех отказов), следовательно, необходимо на данной ЛЭП осуществить замену существующего провода на СИП - 3 соответствующего сечения.

Для отказов элементов ЛЭП по причине «повреждение опоры» анализ показал следующее. Общее количество повреждений в 2014 году составит, согласно прогнозной модели, 48 отказов (рисунок 2), что практически соответствует повреждаемости этого элемента в 2008 году (49 отказов), что на 14 % меньше, чем в 2006 году (год максимальной повреждаемости опор - 56 отказов) и на 60 % больше, чем в 2011 году (год минимальной повреждаемости опор). Вместе с этим, в среднем по месяцам 2014 года, по сравнению со средним значением отказов за предыдущий период (2004 - 2013 г.г.) период ожидается увеличение отказов опор: в январе на 30

%, в феврале на 50 %, в апреле на 24 %, в мае на 20 %, в июне на 22 %, в июле на 24 %, в августе на 27 %, в сентябре на 20 %, в октябре на 33 %. В марте и ноябре количество

отказов остаётся неизменным, а в декабре даже ожидается снижение отказов на 9 %. В целом в 2014 году ожидается увеличение повреждаемости опор ВЛ на 20 %.

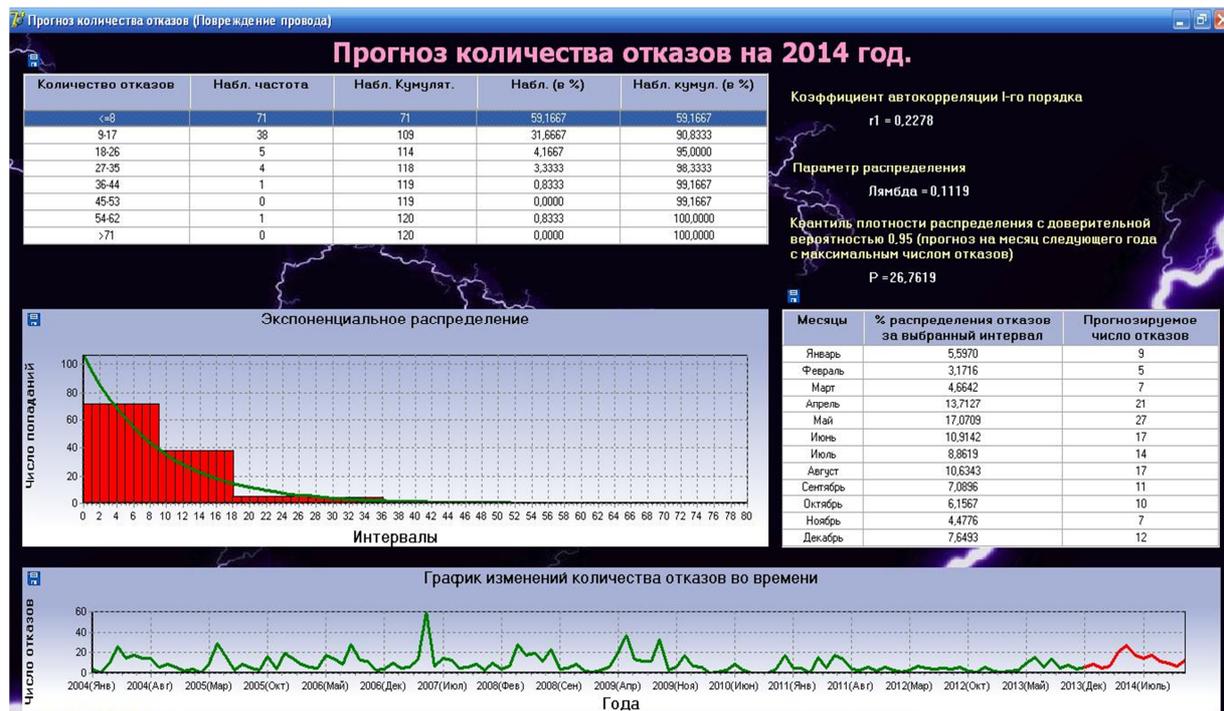


Рисунок 1 - Окно вывода результатов для причины «Повреждение провода»



Рисунок 2 - Окно вывода результатов прогнозирования для причины «Повреждение опоры»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОВНЯ НАДЁЖНОСТИ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 КВ

По данным [4], основной причиной повреждения опор ВЛ является сезонная «подвижность» грунтов, что, в совокупности с некачественным монтажом, может привести к их падению. Поэтому в качестве превентивной меры рекомендуется произвести осмотр ЛЭП и, при наличии неустойчивого положения опор, произвести выравнивание, либо демонтаж с последующей перетяжкой проводов ВЛ.

Для визуальной оценки изменения числа отказов во времени программа обеспечивает построение сводного графика, из которого видно, что отказы, связанные с повреждением проводов воздушных линий 10 кВ, возникают чаще, чем по причине повреждения опор (рисунок 3). Кроме того, прогноз на 2014 год показывает, что эта тенденция не изменится.

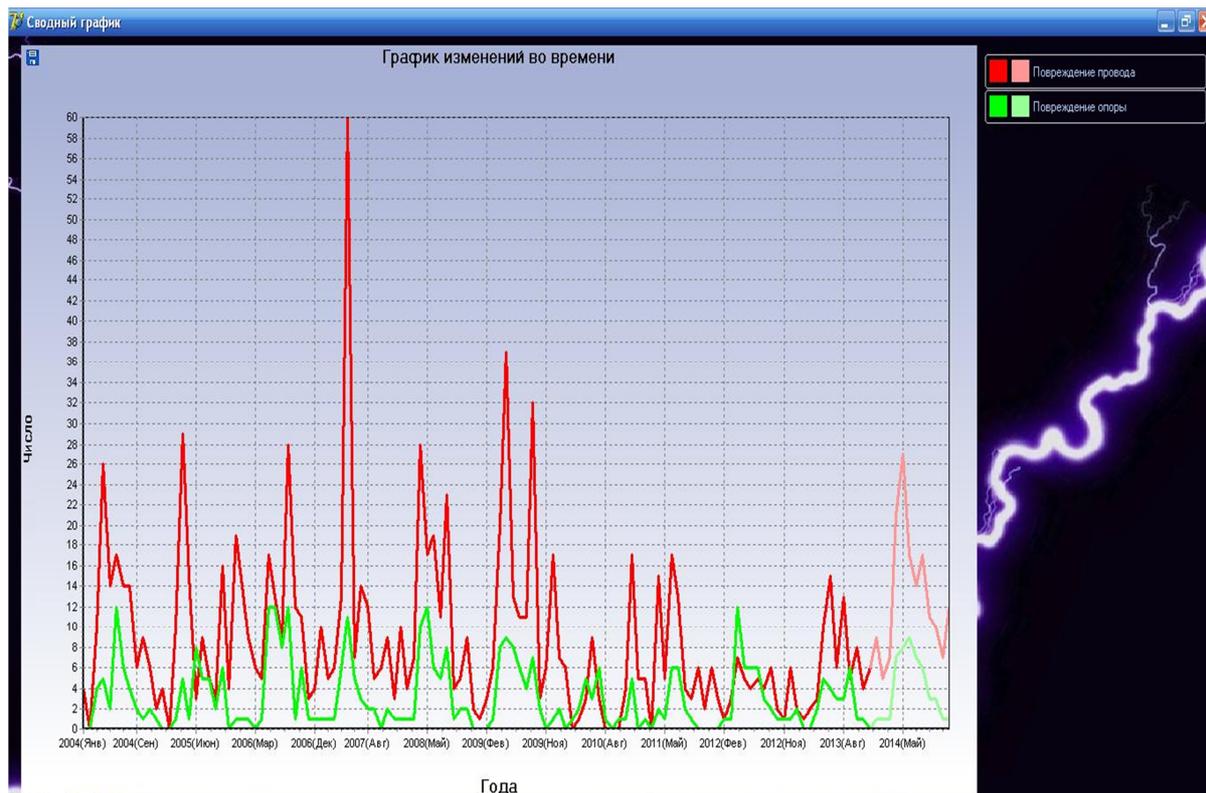


Рисунок 3 - Окно вывода сводного графика для причин «Повреждение провода» и «Повреждение опоры»

Таким образом, использование программы «Прогноз – 2+» позволяет получить перспективную количественную оценку отказов для отдельных элементов электрических сетей и сравнивать их между собой. С учётом прогнозной информации электросетевая компания имеет возможность более эффективно формировать систему организационно-технических мероприятий, превентивно влияющих на повышение уровня надёжности электроснабжения и обосновать необходимое и достаточное количество запасных частей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наумов, И.В. Прогнозирование отказов сельских распределительных сетей напряжением 10 кВ (на примере филиала Восточных электрических сетей ОАО «ИЭСК») / И.В. Наумов, А.В. Ланин // Вестник АлтГАУ, выпуск № 1. - 2011г., С. 86-91.
2. Наумов, И.В. Математическая модель прогнозирования уровня надёжности электроснабжения в электрических сетях 10 кВ / И.В. Наумов, А.В. Ланин, В.Н. Ерин // Вестник АлтГАУ, выпуск № 8. - 2011г., С. 88-91.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011618014 от 12.10.2011 г. Прогноз – 2+ / Ланин А.В., Наумов И.В.; заявители и правообладатели Ланин А.В., Наумов И.В.:заявка № 2011616163 от 12.08.2011 г.
4. Журнал аварийных отключений филиала восточных электрических сетей ОАО «Иркутская электросетевая компания» [электронный ресурс], 2004 - 2013 г.г.

5. Ланин, А.В. Прогнозирование уровня надёжности электроснабжения для повышения эффективности работы сельских электрических распределительных сетей 10 кВ / А.В. Ланин // дисс. ... канд. техн. наук – Красноярск, 2012. – 210 с.: ил.

Наумов И.В. – д.т.н., профессор, кафедра электроснабжения и электротехники ИрГТУ, тел. (3952)237360
E-mail: professornaumov@list.ru.

Иваньо Я.М. – д.т.н., профессор, проректор по учебной работе ИрГСХА, тел. 8(3952)237692,
E-mail: pur@igsha.ru.

Ланин А.В. – к.т.н., ст. преподаватель кафедры электроснабжения и электротехники ИрГСХА, тел. (3952)237360
E-mail: lanin_irk@mail.ru.

Мищенко А.В. – магистрант НИ ИрГТУ, тел. (3952)237360
E-mail: m_av@inbox.ru.