

ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ АПК

УДК 621.315

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРА ПОТОКА ОТКАЗОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ РАЗЛИЧНЫХ НОМИНАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Ганус А. И.¹, Старков К. А.²

¹Северная электроэнергетическая система ГП НЭК "Укрэнерго" (г. Харьков),

²АК "Харьковоблэнерго" (г. Харьков)

Определены величины параметра потока отказов и удельная отключаемость (на 100 км) для воздушных линий с номинальными напряжениями 6-110 кВ, кабельных линий с номинальными напряжениями 0,4-10 кВ, эксплуатируемых в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" за период с 2009 по 2015 гг. Выполнено их сравнение с аналогичными показателями надёжности, имевшими место в период с 2002 по 2008 гг. Исследованы факторы, влияющие на величину параметра потока отказов и динамика их изменения. Определены основные причины аварийных отключений линий электропередачи исследуемых номинальных напряжений и динамика их распределения по годам.

Постановка проблемы. В настоящее время наряду с вопросами совершенствования технологий в электроэнергетике всё большую актуальность приобретают вопросы рациональной организации эксплуатации, управления функционированием и развитием электрических сетей. Одним из критериев при решении указанных вопросов зачастую выступает возможность обеспечения требуемой надёжности.

Оценка надёжности осуществляется с помощью таких показателей как параметр потока отказов, время восстановления, наработка на отказ, коэффициент готовности, коэффициент вынужденного простоя, вероятность безотказной работы и др.

Актуальность данной проблемы акцентирована в [1], где сказано, что на сегодняшний день отсутствуют критерии оценки деятельности энергоснабжающих компаний относительно выполнения их основной функции, предусмотренной Законом Украины "Об электроэнергетике", согласно которому потребители имеют право бесперебойно получать от энергоснабжающей организации электрическую энергию, соответствующую Государственным стандартам и договорам об использовании электроэнергии, а энергоснабжающие компании, в свою очередь, должны предоставлять качественные услуги по снабжению электрической энергией потребителей без перерыва, чем, как раз и характеризуется надёжность работы электрических сетей.

Цель статьи. Целью данной работы является анализ динамики изменения величины параметра потока отказов и факторов, влияющих на его величину, для воздушных и кабельных линий электропередачи различных номинальных напряжений на основе статистических данных эксплуатации электрических сетей АК "Харьковоблэнерго", а также выявление тенденций в изменении указанных показателей.

Анализ последних исследований и публикаций. В [2] и [3] были определены показатели надёжности электрических сетей, эксплуатировавшихся в 70^е - 80^е гг. в СССР. Однако, за время прошедшее с момента публикации указанных исследований существенно изменилось оборудование, используемое в электроэнергетике, средние сроки эксплуатации обо-

рудования электрических сетей, подходы к финансированию эксплуатационных задач и др.

В [4] на основе статистических данных эксплуатации электрических сетей АК "Харьковоблэнерго" были исследованы факторы, влияющие на величину параметра потока отказов.

Учитывая то, что в настоящее время на Украине эксплуатируется 948000 км ВЛ различных классов напряжения, срок эксплуатации большинства из которых составляет 40-60 лет, а для некоторых достигает 80 лет [5], исследование факторов, влияющих на их надёжность, их динамики является достаточно актуальной задачей.

Основные материалы исследования.

Теоретически величину параметра потока отказов $\omega(t)$ определяют по формуле [2]:

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M\{r(t+\Delta t) - r(t)\}}{\Delta t}, \quad (1)$$

где Δt – бесконечно малый отрезок наработки;
 $M\{r(t+\Delta t) - r(t)\}$ – математическое ожидание числа отказов на отрезке времени Δt .

Однако для практических расчётов чаще всего используется формула [3]:

$$\omega = \frac{m}{n \cdot T}, \quad (2)$$

где n – количество линий электропередачи указанного класса напряжений;

T – период наблюдения;

m – количество аварийных отключений линий электропередачи указанного класса напряжений в группе из n за промежуток времени T .

По указанной формуле были определены величины параметра потока отказов для ВЛ с номинальными напряжениями 110-154 кВ, 35 кВ, 6-10 кВ и кабельных линий (КЛ) с номинальными напряжениями 6-10 кВ, 0,4 кВ (табл. 1).

Таблица 1 – Частота аварийных отключений линий электропередачи, эксплуатируемых в АК "Харьковоблэнерго", 1/год

Год	ВЛ 110-154 кВ	ВЛ 35 кВ	ВЛ 6-10 кВ	КЛ 6-10 кВ	КЛ 0,4 кВ
2009	0,596	0,323	0,403	0,098	0,011
2010	0,428	0,413	0,391	0,106	0,013
2011	0,512	0,280	0,383	0,130	0,014
2012	0,336	0,134	0,265	0,110	0,013
2013	0,356	0,127	0,302	0,105	0,014
2014	0,316	0,124	0,246	0,125	0,014
2015	0,312	0,090	0,211	0,106	0,013

В качестве параметра "n" принималось общее количество воздушных или кабельных линий электропередачи соответствующего номинального напряжения, эксплуатируемых в АК "Харьковоблэнерго" в течение рассматриваемого года. Отличия в этой величине по годам зависят от количества вновь построенных, принятых в собственность и списанных по различным причинам линий электропередачи.

Анализ величин параметра потока отказов линий электропередачи различных номинальных напряжений, эксплуатируемых в АК "Харьковоблэнерго", показывает следующее.

В период с 2009 г по 2015 г. по сравнению с 2002 – 2008 гг., информация о показателях надёжности электрических сетей АК "Харьковоблэнерго" за который приведена в [4], значительно увеличилась надёжность эксплуатации ВЛ 110-154 кВ, ВЛ 110-154 кВ, ВЛ 6-10 кВ, снизилась частота аварийных отключений КЛ 6-10 кВ и почти не изменились показатели надёжности эксплуатации КЛ 0,4 кВ. При этом, минимальная частота аварийных отключений линий электропередачи всех рассматриваемых классов имела место в 2012 г. Данный минимум возможно объяснить тем, что в период с 2008 г. по 2012 г. в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" была реализована Программа подготовки электрических сетей АК "Харьковоблэнерго" к финальным матчам чемпионата Европы по футболу 2012 г., реализация мероприятий которой значительно повысила надёжность электрических сетей рассматриваемых классов.

Снижение частоты аварийных отключений ВЛ 6-10-35-110-154 кВ в последующие годы связано с большим объёмом реконструкции электрических сетей АК "Харьковоблэнерго" в период с 2013 по 2015 гг., который охватил порядка 0,2% электрических сетей указанных номинальных напряжений. Значительно меньшими были в эти годы объёмы реконструкции КЛ 6-10 кВ (объём реконструкции охватил 0,138% от общего количества электрических сетей данного класса) и КЛ-0,4 кВ (лишь 0,031% от их суммарной длины).

Поэтому, возможно сделать вывод о том, что строительство новых электрических сетей и реконструкция существующих является одним из основных факторов, влияющих на частоту их отключений.

Информация об удельной отключаемости рассматриваемых линий электропередачи приведена в табл. 2.

Таблица 2 – Удельная отключаемость линий электропередачи в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" (на 100 км)

Год	ВЛ 110-154 кВ	ВЛ 35 кВ	ВЛ 6-10 кВ	КЛ 6-10 кВ	КЛ 0,4 кВ
2009	2,27	3,23	3,32	17	10,86
2010	2,73	2,35	3,27	20,89	10,78
2011	2	1,08	2,24	19,39	9,92
2012	1,91	0,99	2,6	18,44	8,85
2013	1,93	0,95	2,15	21,6	11,39
2014	1,88	0,72	1,84	18,03	12,45
2015	1,83	0,71	1,82	17,2	11,47

Анализ информации, приведенной в табл. 1 и 2, показывает, что в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" имеет место тенденция к постепенному снижению аварийной отключаемости, за исключением эксплуатации кабельных линий всех классов номинальных напряжений, что обеспечивается за счёт нового строительства электрических сетей, их реконструкции и технического перевооружения, выполнения требуемых объёмов капитальных ремонтов и технического обслуживания, своевременной расчистки трасс воздушных линий от зелёных насаждений, находящихся к ней на недопустимых расстояниях.

Рассмотрим более подробно причины, которые вызывают аварийные отключения линий электропередачи. Основными причинами аварийных отключений ВЛ с номинальным напряжением 110-154 кВ были: повреждение изоляции (51,9% от общего количества отключений ВЛ указанных номинальных напряжений), повреждение проводов (25,2%), повреждение оборудования на абонентских подстанциях (8,5%), повреждение участков ВЛ, находящихся на территории других областей (6,8%), повреждение грозозащитного троса (3,7%), повреждение оборудования на подстанциях АК "Харьковоблэнерго" (3,4%), повреждение опор (0,5%). Динамика распределения каждой из рассмотренных причин за 7 лет приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Динамика распределения причин аварийных отключений ВЛ с номинальным напряжением 110-154 кВ в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" в период с 2009 по 2015 гг., %

Причины аварийных отключений	2009	2010	2011	2012
Повреждение проводов	26,17	23,44	25,01	19,11
Повреждение опор	0,93	0	0	0
Повреждение грозотроса	3,74	3,13	3,57	4,49

Продолжение таблицы 3

Повреждение изоляции	44,86	49,22	55,95	52,81
Повреждения на ПС АК"Харьковоблэнерго"	3,74	3,91	2,38	1,12
Повреждения на абонентских ПС	13,08	10,92	5,95	8,99
Повреждения участков ВЛ, находящихся на территории других областей	7,48	9,38	7,14	13,48
Причины аварийных отключений	2013	2014	2015	
Повреждение проводов	26,32	25,64	30,59	
Повреждение опор	0	0	2,35	
Повреждение грозозащитного троса	2,63	3,85	4,71	
Повреждение изоляции	56,57	55,13	49,41	
Повреждения на ПС АК"Харьковоблэнерго"	3,95	2,56	5,88	
Повреждения на абонентских ПС	6,58	10,26	3,53	
Повреждения участков ВЛ, находящихся на территории других областей	3,95	2,56	3,53	

Необходимо отметить, что чаще всего повреждения изоляции на ВЛ 110-154 кВ происходили из-за птичьих загрязнений (61,9%), в 30,9% случаев - было результатом воздействия грозовых перенапряжений, в 2,4% - из-за повреждения фарфора, в 4,8% - были результатом расстрела изоляторов посторонними лицами.

Основными причинами повреждения проводов были: падение на них деревьев под действием ветра, гололёда или других причин, не связанных с деятельностью человека, или касание ветвями деревьев проводов (27,2%), перегорание проводов (например, из-за низовых пожаров под проводами ВЛ, перегрузки) (23,1%); недопустимые приближения к проводам воздушных линий механизмов и техники при несанкционированном выполнении работ сторонними организациями или людьми в охранных зонах ВЛ, приводящие к перекрытиям (15,4%); падение на провода ВЛ деревьев, срезанных посторонними людьми (10,5%); набросы на провода (8,3%); подхлест проводов (6,4%); дефекты проводов, креплений (5,2%), попадание молнии (3,9%).

Повреждения грозозащитных тросов происходили из-за гололёдообразования (60%), старения материала (20%), перегорания в результате попадания

молнии (10%), дефектов троса и креплений (10%).

Увеличение в 2015 г. доли такого фактора структуры причин аварийных отключений ВЛ-110 кВ, как повреждение опор, было связано со стихийными явлениями в начале декабря 2015 г., когда из-за гололёдообразования и ветровой нагрузки произошло разрушение и падение опор №№ 13-16 на ВЛ-110 кВ "Залютино – Каштановая". Но, необходимо заметить, что замена этих опор была предусмотрена в 2015 г. Инвестиционной программой, но не была выполнена своевременно в связи с финансовыми трудностями.

Основными причинами аварийных отключений ВЛ с номинальным напряжением 35 кВ были: повреждения изоляции (47,6% от общего количества отключений ВЛ с номинальным напряжением 35 кВ), повреждение проводов (35,5%), повреждение оборудования на подстанциях (13,7%), повреждение опор (2,2%), повреждение грозозащитного троса (1%). Динамика распределения каждой из рассмотренных причин аварийных отключений ВЛ-35 кВ за 7 лет приведена в табл. 4.

Таблица 4 – Динамика распределения причин аварийных отключений ВЛ с номинальным напряжением 35 кВ в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" в период с 2009 по 2015 гг., %

Причины аварийных отключений	2009	2010	2011	2012
Повреждение проводов	34,78	24,72	28,58	41,46
Повреждение опор	0	0	0	0
Повреждение грозозащитного троса	0,87	1,12	2,38	0
Повреждение изоляции	46,09	65,17	57,14	41,46
Повреждения оборудования на ПС	18,26	8,99	11,9	17,08
Причины аварийных отключений	2013	2014	2015	
Повреждение проводов	37,14	34,48	47,06	
Повреждение опор	0	3,45	11,76	
Повреждение грозозащитного троса	2,86	0	0	
Повреждение изоляции	45,71	48,28	29,42	
Повреждения оборудования на ПС	14,29	13,79	11,76	

Для ВЛ-35 кВ основными причинами повреждения проводов были: падение на них деревьев под действием ветра, гололёда, пожара или других факторов, не связанных с деятельностью человека, или касание ветвями деревьев проводов (44,8%); падение на провода ВЛ деревьев, срезанных посторонними людьми (19,4%); попадание молнии (16%); старение материала (10,1%); набросы на провода (7,5%); недопустимые

приближения к проводам воздушных линий механизмов и техники при несанкционированном выполнении работ сторонними организациями или людьми в охранных зонах ВЛ, приводящие к перекрытиям (2,2%).

Основной причиной повреждения изоляции ВЛ указанного номинального напряжения в рассматриваемом промежутке времени были воздействия грозových перенапряжений (93,8%). Остальные причины повреждения изоляции ВЛ связаны с перекрытием изоляции из-за птичьих загрязнений (2,6%), повреждением фарфора в результате старения (2,1%), расстрелом изоляторов посторонними лицами (1,5%).

Повреждения грозозащитных тросов связаны с их перегораниями в результате попадания молнии (50%), а также дефектами тросов и их креплений (50%).

Основными причинами аварийных отключений ВЛ с номинальными напряжениями 6-10 кВ являются: повреждение проводов (32,2% от общего количества отключений ВЛ с номинальным напряжением 6-10 кВ), повреждения абонентского оборудования (14,3%), повреждение трансформаторов (10,4%) и прочего оборудования (12,6%) на трансформаторных подстанциях (ТП) и распределительных пунктах (РП), повреждения изоляции (16,1%), повреждения кабельных вставок (5,8%), повреждение опор (7,4%), повреждение разъединителей (1,2%). Динамика распределения причин аварийных отключений ВЛ с номинальными напряжениями 6-10 кВ за 7 лет приведена в табл. 5.

Таблица 5 – Динамика распределения причин аварийных отключений ВЛ с номинальным напряжением 6-10 кВ в период с 2009 по 2015 гг., %

Причины аварийных отключений	2009	2010	2011	2012
Повреждение опор	4,12	6,04	6,42	5,59
Повреждение проводов	35,11	40,01	23,85	30,05
Повреждение изоляции	7,39	10,83	16,21	21,54
Повреждение трансформаторов на ТП	13,96	9,17	14,68	12,23
Повреждение прочего оборудования ТП, РП	16,42	10,83	11,62	12,5
Повреждение разъединителей	2,26	0,61	1,22	1,33
Повреждение кабельных вставок	8,83	5,63	8,26	5,32
Повреждение абонентского оборудования	11,91	16,88	17,74	11,44

Продолжение таблицы 5

Причины аварийных отключений	2013	2014	2015
Повреждение опор	8,85	6,22	14,93
Повреждение проводов	20,16	29,2	49,33
Повреждение изоляции	21,97	19,34	8,53
Повреждение трансформаторов на ТП	9,18	7,3	7,21
Повреждение прочего оборудования ТП, РП	16,72	13,5	7,47
Повреждение разъединителей	0,66	1,82	1,33
Повреждение кабельных вставок	4,92	4,74	3,47
Повреждение абонентского оборудования	17,54	17,88	7,73

Для ВЛ 6-10 кВ основными причинами повреждения проводов являются: падение на них деревьев, касание ветками проводов ВЛ (51,8%); вмешательство посторонних лиц (например, с целью хищения проводов) (14,9%), обрыв вязок (11,4%), ветровая нагрузка при стихийных явлениях (9,4%), схлестывание проводов из-за несоответствующей стрелы провеса (2,2%), дефекты арматуры креплений (2%), ошибочные действия персонала энергокомпании (0,7%), дефекты соединений (0,6%) и другие (7%).

Основной причиной повреждения изоляторов ВЛ указанного номинального напряжения были воздействия грозových перенапряжений (41,2%). Остальные причины повреждения изоляторов ВЛ 6-10 кВ связаны со старением материала изоляторов (31,4%), механическим износом (9,2%), вмешательством посторонних лиц (4,9%), загрязнением поверхности (4,6%), заводскими дефектами (0,7%) и другими причинами (8%). Причины повреждения опор ВЛ 6-10 кВ связаны с вмешательством посторонних лиц (например, наезды автотранспорта на опоры) (62,3%), падением деревьев (21,5%) и ветровой нагрузкой при стихийных явлениях (16,2%).

Основными причинами аварийных отключений КЛ с номинальными напряжениями 6-10 кВ являются: повреждения кабелей (68,8%), повреждения соединительных муфт (15,2%), повреждения концевых муфт (12%), повреждения оборудования на трансформаторных подстанциях (2,8%), автоматическая токовая разгрузка (1,2%). Динамика распределения причин аварийных отключений ВЛ с номинальными напряжениями 6-10 кВ за 7 лет приведена в табл. 6.

Таблица 6 – Динамика распределения причин аварийных отключений КЛ с номинальным напряжением 6-10 кВ в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго" в период с 2002 по 2008 гг., %

Причины аварийных отключений	2009	2010	2011	2012
Повреждения кабелей	66,61	75,66	73,18	67,81

Продолжение таблицы 6

Повреждения концевых муфт	9,97	7,43	10,99	15,29
Повреждения со- единительных муфт	15,38	11,66	11,47	14,57
Повреждения на ТП	6,29	3,64	1,94	1,44
Автоматическая токовая разгрузка	1,75	1,61	2,42	0,89
Причины аварийных от- ключений	2013	2014	2015	
Повреждения кабелей	67,67	68,25	62,68	
Повреждения концевых муфт	14,66	13,23	12,67	
Повреждения соедини- тельных муфт	14,66	16,22	22,43	
Повреждения на ТП	2,29	2,12	1,71	
Автоматическая токовая разгрузка	0,72	0,18	0,51	

Для КЛ с номинальным напряжением 6-10 кВ АК "Харьковоблэнерго" основными причинами выхода из строя было: старение изоляции (89,5%), повреждения, связанные с нарушением технологии прокладки КЛ (5,2%); коррозия (2,9%); сдвиг грунта (1,4%); механические повреждения (0,7%) и другие (0,3%).

Выводы

1. Проведенный в данной статье сравнительный анализ надёжности линий электропередачи различных классов номинальных напряжений, используемых в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго", на основе параметра потока отказов показал, что в период 2009 г. по 2015 г. по сравнению с периодом 2008 – 2012 гг. улучшились показатели надёжности ВЛ 110-154 кВ, ВЛ 110-154 кВ, ВЛ 6-10 кВ, незначительно снизилась частота аварийных отключений КЛ 6-10 кВ и почти не изменились показатели надёжности эксплуатации КЛ 0,4 кВ.

2. Показано, что основным фактором, влияющим на показатели надёжности электрических сетей, являются капитальные вложения в новое строительство, реконструкцию и техническое переоснащение существующих электрических сетей.

3. Анализ причин аварийных отключений показал динамику изменения основных составляющих, влияющих на величину параметра потока отказов; позволил выявить тенденции их изменения, что позволит принять меры по их компенсации.

Перспективой дальнейших исследований является: выявление оборудования в наибольшей степени влияющего на наличие выявленных причин снижения надёжности с целью их устранения; определение роли каждого из факторов, влияющего на надёжность оборудования (завод-изготовитель, срок службы, технические показатели оборудования и др.) на базе статистических исследований в электрических сетях АК "Харьковоблэнерго"; синтез вероятностной математи-

ческой модели, определяющей надёжность линий электропередачи.

Список использованных источников

1. Шкура В. П. Методика расчёта показателей (индексов) надёжности электрических сетей. // Электрические сети и системы. – 2006. - №1. С.45-46.
2. Гук Ю. Б. Теория надёжности в электроэнергетике: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
3. Розанов М. Н. Надёжность электроэнергетических систем, М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200 с.
4. Ганус А. И., Старков К. А. Динамика изменения параметра потока отказов линий электропередачи разных номинальных напряжений // Энергетика та електрифікація. – 2010. - №2. – С.5-10.
5. Горохов Е. В. Принципы повышения надёжности и долговечности воздушных линий при гололёдно-ветровых нагрузках / Е. В. Горохов, С. В. Турбин, Г. И. Гримуд. – Электрические сети и системы. – 2005. - №3. С.3-9.

Анотація

ДИНАМІКА ЗМІНИ ПАРАМЕТРА ПОТОКА ВІДМОВ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ РІЗНИХ НОМІНАЛЬНИХ НАПРУГ

Ганус А. І., Старков К. О.

Визначено величини параметра потоку відмов і питома відключаємість (на 100 км) для повітряних ліній з номінальними напругами 6-110 кВ, ка-кабельних ліній з номінальними напругами 0,4-10 кВ, що експлуатуються в електричних мережах АК "Харківобленерго" за період з 2009 по 2015 рр. Виконано їх порівняння з аналогічними показате-никами надійності, що мали місце в період з 2002 по 2008 рр. Досліджено фактори, що впливають на величину параметра потоку відмов і динаміка їх зміни. Визначено основні причини аварійних відключень ліній електропередачі досліджуваних номінальних напруг і динаміка їх розподілення по рокам.

Abstract

DYNAMICS OF CHANGES FLOW PARAMETERS FAULT LINES POWER DIFFERENT NOMINAL VOLTAGES

A. Ganus, K. Starkov

The values of the failure flow parameter and unit is disconnected (100 km) for overhead lines with nominal voltages of 6-110 kV, ka-cabling lines with nominal voltages of 0.4-10 kV electric networks operating in AC "Kharkivoblenergo" for the period from 2009 and 2015. Achieved their comparison with those of reliability that took place in the period from 2002 to 2008. The factors that influence the failure flow parameter and the dynamics of their changes. The main causes of outages of transmission lines of nominal voltages and studied the dynamics of their distribution over the years.