

## ПРОБЛЕМЫ УТРЕННИХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Боровицкий В.Г., Овсянников А.Г.

Рассматриваются причины отключения воздушных линий электропередачи в утреннее время суток. Выдвигаются версии возникновения отключения ВЛ и формулируются подходы к разрешению этих версий.

Проблема утренних отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) занимает умы нескольких поколений работников сетевых компаний. Как правило, отключения ВЛ «на заре» сопровождаются успешным автоматическими повторными включениями (АПВ), а причина отключения остается невыясненной даже в тех случаях, когда место перекрытия удаётся с большим трудом найти. Отключения такого вида не приносят осязаемого ущерба, но приводят к ряду неприятных последствий. Ток короткого замыкания, стекая через фундамент опоры, вызывает опасное напряжение прикосновения и шаговое напряжение, индуцирует наведенные напряжения в линиях связи, а также в нефте- и газопроводах, проходящих в непосредственной близости параллельно трассе ВЛ. При некоторых условиях аварийный ток может перекинуться непосредственно на рядом проходящие под землей трубопроводы. При отключениях и повторных включениях ВЛ срабатывает ресурс выключателей, возникают перенапряжения и мощные помехи во вторичных цепях подстанционного оборудования.

Обычно рассматривают три версии возникновения отключений.

1. Перекрытие подвесной изоляции при вмешательстве птиц.
2. Увлажнение загрязненной поверхности изоляторов утренним туманом или росой.
3. Комбинация первого и второго факторов.

Рассмотрим подробнее эти версии.

### *Птичьи отключения*

Обстоятельная работа Г. Кайзера [1], посвященная проблеме утренних отключений ВЛ 110 кВ в Германии, однозначно доказала, что перекрытия ВЛ «на заре» инициируются струей помета, выпускаемой канюками при их атаке с высоты опоры ВЛ на своих жертв: мелких грызунов, птиц и т.д. На рис.1 в координатах «время года – время суток» приведены 1902 случая однофазных отключений в сетях по неизвестной причине, которые наблюдались с 1956 по 1967 год в Баварской электрической сети напряжением 110 кВ. Изучаемая сеть была выбрана для анализа неслучайно, т.к. загрязнение атмосферы в этом районе отсутствует. Сеть раскинута достаточно равномерно по территории федеральной земли Бавария и включает свыше 4000 км ВЛ. Почти все ВЛ построены на участках земли, которые используются в сельском и лесном хозяйстве.

Если в статистических данных отбросить незначимые данные и выделить генеральную совокупность, то можно доказать, что все однофазные отключения по неизвестной причине возникают из-за перекрытия по струе птичьего помёта, сидящего на траверсе канюка. Эта птица в состоянии струёй помёта (длиной свыше 1,6 м) вызвать перекрытие изоляционного промежутка между траверсой и проводом или зажимом на промежуточной опоре. Существующие взаимосвязи между отключениями ВЛ и канюками были подтверждены и оценены посредством корреляционных вычислений с привлечением климатических, орнитологических и экологических факторов, а сам процесс был воспроизведён в лабораторных условиях.



4. Значимая корреляция с сезонными периодами (высиживание птенцов и охота) в рассматриваемом регионе.
5. Уязвимость определенного типа опор и узла подвески (двухцепные опоры с двумя металлическими траверсами, преимущественно с нижней траверсы).
6. АПВ всегда успешные.
7. Параметры слоя загрязнения птичьими экскрементами: объем 3-8 см<sup>3</sup>, 2-3 мм толщиной, с проводимостью 100-130 мксим.

#### ***Перекрытие загрязненной и увлажненной изоляции ВЛ***

Этот механизм перекрытия широко известен и доказан для зон с интенсивным загрязнением атмосферы, но утренние отключения ВЛ в районах с относительно чистой атмосферой требуют отдельного рассмотрения. Отметим, что во всех таких случаях влагоразрядные характеристики демонтированных с ВЛ изоляторов значительно превышали рабочее напряжение. Из этого напрашивается вывод о том, что методы испытаний по ГОСТ 10390-86 не воспроизводят условий, которые имели место в момент перекрытия под рабочим напряжением ВЛ.

#### ***Смешанный механизм перекрытия изоляции ВЛ***

В другой, тоже весьма обстоятельной работе немецких исследователей [2] анализируется более близкий к современному опыт эксплуатации ВЛ. Автор предваряет результаты исследований следующими замечаниями.

После работ Г. Кайзера сложилось мнение, что «птичьи проблемы» касаются только ВЛ класса напряжения 123 кВ. Однако имели место отключения ВЛ 275 кВ в ЮАР [3], ВЛ 525 кВ в Китае [4] и на 2-цепной ВЛ 420 кВ в Германии (около Рейна) со всеми признаками вмешательства птиц.

Интересно также, что частота отключений резко возростала сразу после замены изоляции: в ЮАР и в Китае фарфоровые изоляторы меняли на полимерные изоляторы в надежде решить проблему перекрытий загрязненной изоляции, а в Германии стержневые фарфоровые изоляторы («ландштапы») меняли на полимерные изоляторы меньшей строительной высоты.

Большая часть отключений возникала за 15-20 минут до восхода солнца. Это время совпадает с пиком активности птиц. На птиц указывает и анализ мест перекрытия. На двухцепной ВЛ 420 кВ перекрываются гирлянды изоляторов только на промежуточных опорах на подвесках проводов к нижней траверсе, ближе к стойке опоры.

Особо авторов исследований заинтересовал вопрос об особой уязвимости полимерных изоляторов. Новые и демонтированные с ВЛ полимерные изоляторы, в т.ч. те, на которых были обнаружены следы перекрытия, были подвергнуты высоковольтным испытаниям по стандарту МЭК 61109. Изоляторы прошли эти испытания успешно. Но проверка гидрофобности ребер изоляторов показала удивительный результат. Новые полимерные изоляторы имели  $K_{гф} = 1-2$  по стандарту МЭК 62073, т.е. были хорошими, а снятые с ВЛ в начальный период эксплуатации и взятые со склада имели резко неравномерный  $K_{гф}$  по высоте (рис.2).

Выяснилось, что основной причиной этого явления была грибковая плесень, которая появляется на изоляторах при хранении в обычных складских помещениях [5]. После 2-3 месяцев эксплуатации плесень исчезает под действием солнечного ультрафиолетового излучения и ветра. Но до этого плесень способна резко снизить гидрофобность поверхности изолятора. Увлажнение происходит при отпотевании изолятора в утренние часы. На рис.3 приведены зависимости температуры окружающего воздуха и точки росы на трассе ВЛ напряжением 420 кВ.

Температура воздуха и точка росы совпадают хотя бы один раз в день (незадолго до и во время восхода солнца). В летний жаркий период этот интервал времени длится 30-60 минут. Осенью он может растянуться на часы или даже дни. Можно предположить, что изоляция увлажняется в это время в соответствии с классом гидрофобности. На это указывает тот факт, что все три перекрытия на ВЛ 420 кВ произошли именно в интервалы времени увлажнения. Тем не менее, авторы в разработанной математической модели перекрытия привле-

кают и «птичий» фактор. На рис.4 приведен расчет картины электрического поля в момент перекрытия полимерного изолятора.

В модели перекрытия учитываются неравномерность увлажнения изолятора по его высоте в соответствии с классами гидрофобности ребер; неравномерность распределения напряженности электрического поля по высоте изолятора  $U(l)$ ; сниженная по сравнению с прежде висевшими стержневыми фарфоровыми изоляторами длина; струя птичьего помета как спусковой крючок для возникновения перекрытия.

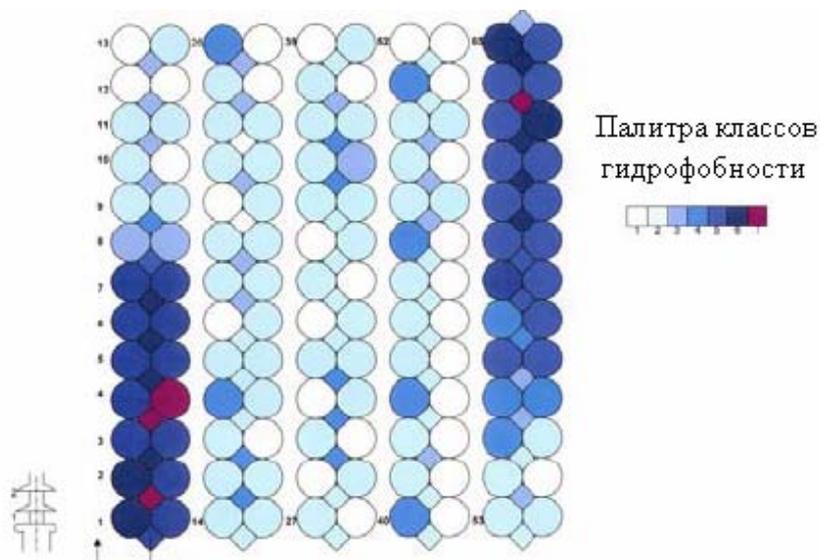


Рис. 2 Распределение классов гидрофобности по высоте полимерного изолятора

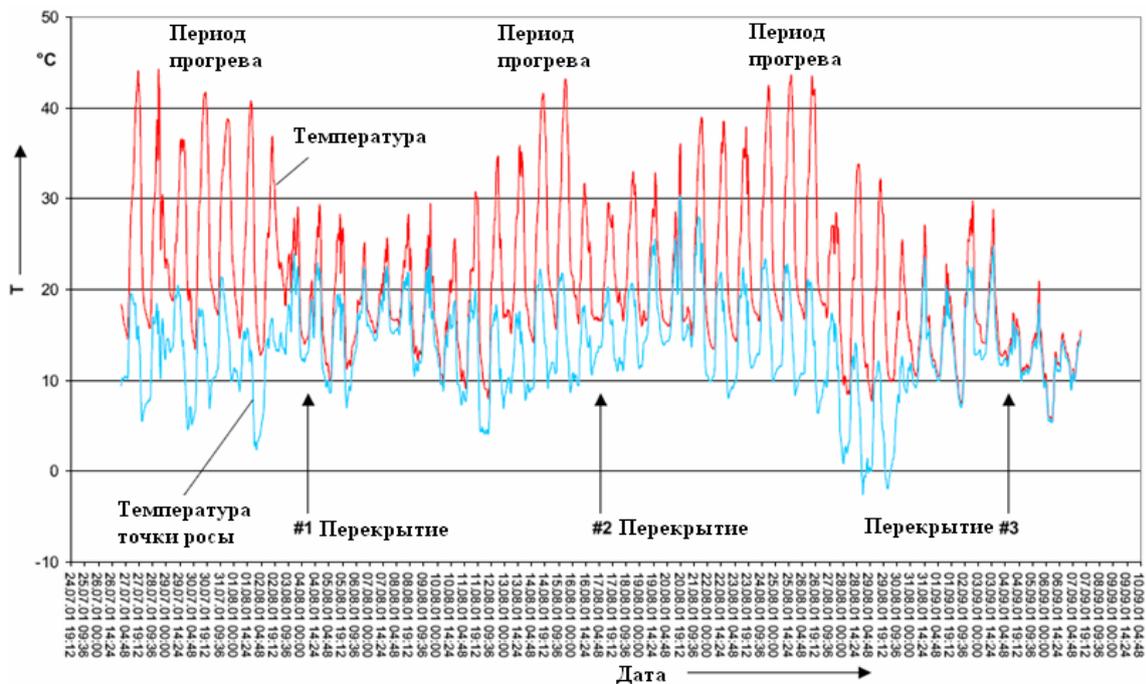


Рис. 3 Температура и точка росы в период с 24 июля по 7 сентября 2001 г.

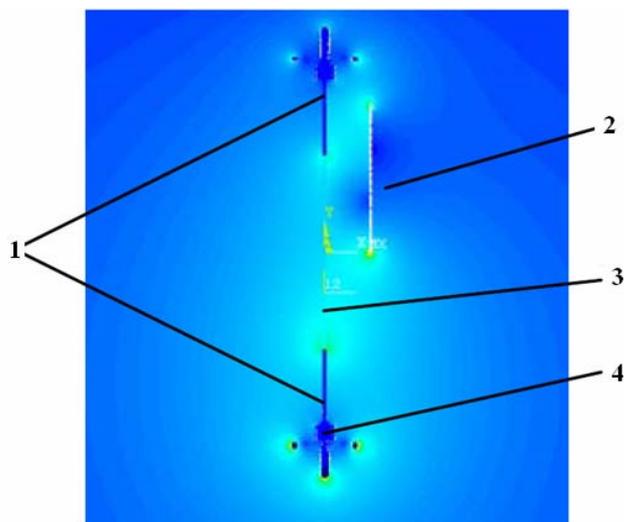


Рис. 4 Расчетная модель перекрытия полимерного изолятора ВЛ 420 кВ:  
1 – гидрофильные участки, 2 – струя птичьего помета, 3 – гидрофобный участок, 4 – полимерный изолятор

### ***Краткий анализ статистических данных по отключениям ВЛ 110 кВ***

В этой части доклада приведем анализ отключений с успешным АПВ, имевших место в последние пять лет на ВЛ 110 кВ ЮВ-151 и ЮВ-152, эксплуатирующихся Западными сетями филиала МРСК Сибири – «Алтайэнерго». На рис.5,а все эти отключения разнесены по годам. В них выделяется минимум високосный 2008 г., но общее число отключений остается достаточно высоким, несмотря на проведенные предприятием мероприятия.

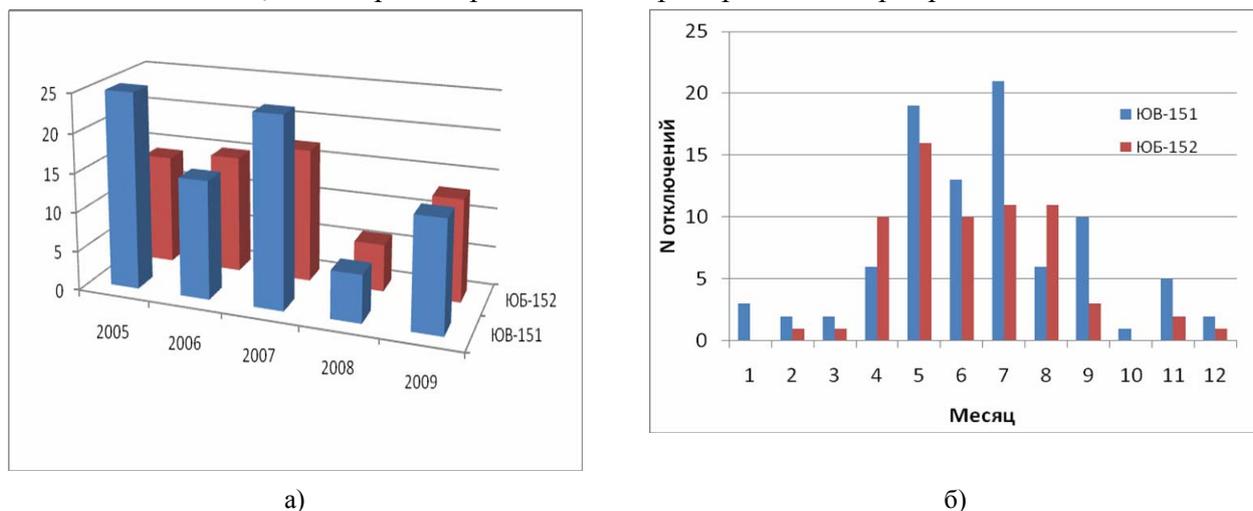


Рис. 5 Распределения отключений ВЛ с успешным АПВ по годам (а) и распределение отключений ВЛ по месяцам года (б)

В распределениях отключений по месяцам года (рис.5,б) выделяется период с апреля по сентябрь.

Следует отметить, что июльский максимум обусловлен вкладом «грозы», т.к. в июле количество грозовых часов близко к половине годового числа. Однако с грозой никак нельзя связать большие числа отключений в апреле-мае и в августе-сентябре. Эти отключения обусловлены, по-видимому, птицами и отпотеванием загрязненной после зимы изоляции, что можно отнести только к апрелю до возникновения дождей, частично смывающих загрязнения. Но в апреле прилетают птицы, улетавшие на зиму (часть старых особей ведет оседлый образ жизни). Возможно также, что часть весенних отключений обусловлена палами. Не-

сколько удивляет небольшой провал в июне, но он вполне объясним «птичьей» версией, если вспомнить что в это время птицы высидывают птенцов.

Весьма показателен и суточный график отключений, приведенный на рис.7., который еще раз подчеркивает остроту проблемы отключений «на заре».

Любопытно, что подобное поведение наблюдается и на ВЛ 220 кВ МЭС Сибири, которые расположены в той же географической зоне.

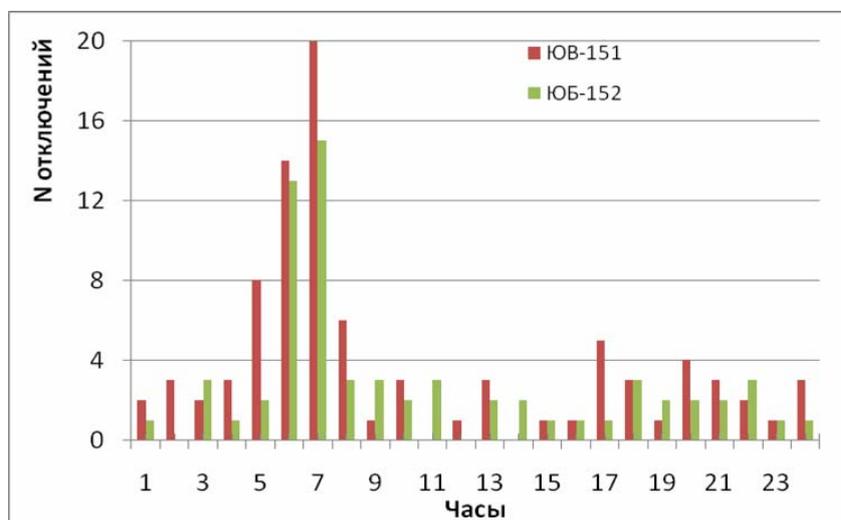


Рис. 7 Распределение отключений по часам суток

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Совпадение по времени двух возможных причин перекрытия изоляции ВЛ не дает возможности предпочтительного выбора одной из них.

2. Уточнение причин утренних отключений ВЛ требует тщательного анализа с привлечением методов математической статистики при обработке данных, а также учета климатических, топографических и орнитологических факторов при их интерпретации.

3. При испытаниях влагоразрядных характеристик изоляции требуется метод, более адекватно отражающий условия эксплуатации ВЛ.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] G. Kaiser. Der Mausebussard als Ursache der einpoligen Freileitungsfehler in 110 kV-Hochspannungsnetzen //ETZ A, 1970, 91. – С.313-317.
- [2] Investigations of bird streamer flashovers at 400 kV overhead transmission line composite insulator sets. J.M. Seifert, LAPP Insulator GmbH & Co. KG, Wunsiedel, Germany /Proc. 13<sup>th</sup> ISH, Rotterdam, 2003.
- [3] H. Vosloo, C. van Royen. Guarding Against Bird Outages //Transmission and Distribution World, April 2001. – С.70-80.
- [4] R. S. Gorur, A. De La O, H. El-Kishky, M. Chowdhary, H. Mukherjee, R. Sundaram, J.T. Burnham. Sudden Flashover of Nonceramic Insulators in Artificial Contamination Tests //IEEE Trans. on DEI., 1997, vol. 4, no. 1. – С.79-87.
- [5] J. G. H. Wessels. Hydrophobins, unique fungal proteins //Mycologist, 2000, vol. 14, part 4.