

АНАЛИЗ ПРИЧИН УТРЕННИХ ОТКЛЮЧЕНИЙ ВЛ 110 КВ

Боровицкий В.Г.
Овсянников А.Г., докт. техн. наук

Рассмотрены возможные причины отключений ВЛ 110 кВ. Приведен краткий обзор литературных данных и выполнен анализ статистики отключений реальных ВЛ 110 кВ с привлечением метеорологических факторов, сопутствующих отключениям по невыясненным причинам.

Ключевые слова: воздушная линия электропередачи; отключения линии по неустановленной причине; птицы; загрязнение и увлажнение изоляции; метеорологические условия

С проблемой утренних отключений воздушных линий электропередачи (ВЛ) знаком каждый линейщик. В электропередаче с глухозаземленной нейтралью отключения ВЛ «на заре» сопровождаются успешным автоматическим повторным включением (АПВ), а причина отключения часто остается невыясненной даже в тех случаях, когда место перекрытия удается найти. Отключения такого вида не приносят осязаемого ущерба, но приводят к ряду неприятных последствий. 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 [1], посвященная проблеме утренних отключений ВЛ 123кВ в Германии, убедительно доказала, что перекрытия ВЛ «на заре» инициируются струей помета, выпускаемой канюками обыкновенными. Существование взаимной связи между отключениями ВЛ и канюками было подтверждено посредством корреляционных вычислений с привлечением климатических, орнитологических и экологических факторов, а сам процесс перекрытия был воспроизведен в лабораторных условиях. Отключения по этой причине на некоторых ВЛ возникали в 35 раз чаще, чем отключения из-за грозы.

Область распространения канюка покрывает почти всю территорию Европы, и во всех странах отключения ВЛ имеют типичные распределения по времени суток. Только на британских островах этих отключений нет, потому что канюк на них почти уничтожен. Общий набор признаков «птичьих» отключений выглядит следующим образом.

- Строгая корреляция с восходом солнца.
- Ограниченная географически территория.
- Значимая корреляция с сезонными периодами (высиживание птенцов и охота) в рассматриваемом регионе.
- Уязвимость определенного типа опор и узла подвески (двухцепные опоры с двумя металлическими траверсами, преимущественно с нижней траверсы).
- АПВ всегда успешные.
- Периодически находят останки птиц.

Признаки отключений ВЛ «на заре» в России, имеют много схожего с «птичьими» [2].

Перекрытие загрязненной и увлажненной изоляции. Этот механизм перекрытия широко известен и доказан для регионов 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.

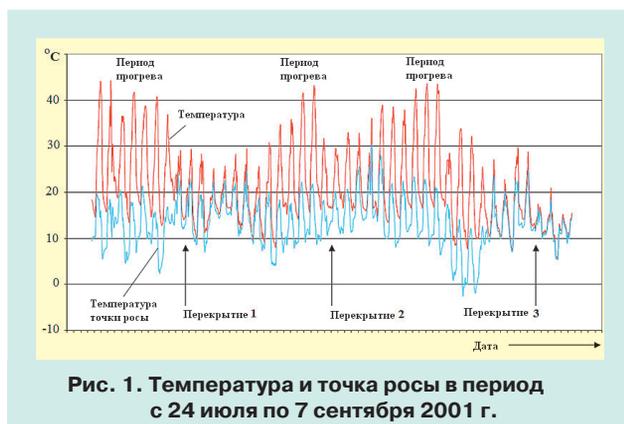
Смешанный механизм перекрытия изоляции. В другой, тоже весьма обстоятельной работе немецких исследователей [3] анализируются отключения 2-цепной ВЛ 420 кВ в Германии (около Рейна), ВЛ 275 кВ в ЮАР [4], ВЛ 525 кВ в Китае [5].

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 2-цепной ВЛ 420 кВ перекрывались гирлянды изоляторов только на промежуточных опорах на подвесках проводов к нижней траверсе, ближе к стойке опоры.

Интересно также, что частота отключений резко возросла сразу после замены изоляции: в ЮАР и в Китае фарфор 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.

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, а вблизи оконцевателей класс гидрофобности ухудшался до $K_{гф} = 4...7$.

Выяснилось, что основной причиной этого явления была грибковая плесень, которая появлялась на изоляторах при хранении в обычных складских помещениях [6]. После 2-3 месяцев эксплуатации плесень исчезала под действием солнечного ультрафиолетового излучения и ветра. Но до этого плесень резко снижала гидрофобность поверхности изолятора. Увлажнение происходило при конденсации влаги на поверхности изолятора в утренние часы. На рис. 1 приведены зависимости изменения во времени температуры воздуха и точки росы на трассе ВЛ 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 привлекли и «птичий» фактор.

Краткий анализ статистических данных по отключениям ВЛ 110 кВ. Анализу подверглись от-

ключения с успешным АПВ, имевшие место в 2005-2009 гг. на двух ВЛ 110 кВ в западных районах Алтайского края. В распределениях отключений ВЛ по месяцам года (рис. 2) выделяется период с апреля по сентябрь.

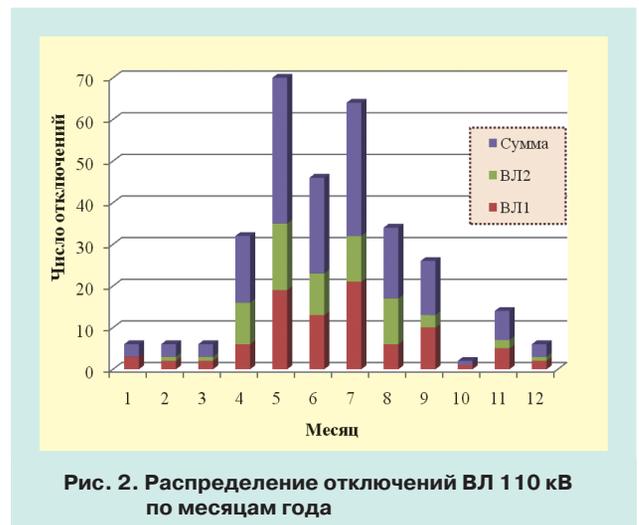


Рис. 2. Распределение отключений ВЛ 110 кВ по месяцам года

Частые отключения ВЛ наблюдались в конце апреля и в мае. Они могли быть спровоцированы и прилетающими с юга птицами, и увлажнением загрязненной после зимы изоляции. Последнее можно отнести только к периоду до возникновения дождей, частично смывающих загрязнения. Возможно также, что часть весенних отключений обусловлена палами. Несколько удивляет небольшой провал в июне, но он вполне объясним обеими версиями, если вспомнить что в это время птицы высидывают птенцов, а грязь с поверхности изоляторов смывается дождями. Следует отметить, грозовые перекрытия ВЛ в учет не брались. Поэтому июльский пик отключений да и заметные числа отключений в августе-сентябре опять-таки может быть объяснен обеими версиями:

- в этот период у взрослых птиц растет «охотничья» активность, а птенцы «встают на крыло»;
- жаркая погода способствует накоплению влаги в воздухе с последующей конденсацией ее на поверхности охлажденных за ночь изоляторов. В последнем случае немалую роль могут играть и накопленные на поверхности птичьих загрязнения.

Весьма показателен и суточный график отключений, приведенный на рис. 3. Он наглядно иллюстрирует проблему отключений ВЛ «на заре». Любопытно, что подобное поведение наблюдается и на ВЛ 220 кВ, расположенных в той же географической зоне.

Зависимость числа отключений ВЛ 110 кВ от метеорологических условий. Целью этой части статистической обработки являлось определение возможности перекрытия увлажненной и загрязненной изоляции.

Из представлений о физическом механизме следует, что для перекрытия загрязненной изоляции требуется создание наибольшей проводимости



Рис. 3. Распределение отключений по часам суток

слоя загрязнения, которое невозможно без его полного увлажнения. Поэтому в качестве аргументов зависимостей были выбраны три метеорологических параметра: перепад температуры ΔT в интервале времени, предшествующему отключению ВЛ, относительная влажность воздуха и скорость ветра.

Непосредственно с процессом конденсации влаги на поверхности изоляторов связана только относительная влажность воздуха. Но совершенно очевидно, что полное увлажнение слоя загрязнения требует большого исходного содержания влаги в воздухе, а оно имеет место при максимальных предшествующих температурах (см. рис.1). Это подтверждается и пиками летних отключений на рис. 2. Отметим также, что на трассах ВЛ имелись несколько заболоченных участков. Испарения с них в жаркую погоду приводили к большой абсолютной влажности воздуха (до 15 и более г/м³). Последующее снижение температуры воздуха вплоть до точки росы способствовало выпадению обильной росы. Поэтому перепад температуры был включен в качестве аргумента для поиска связи вероятности отключения ВЛ с метеословиями.

Аналогичные рассуждения привели к заключению о необходимости учета скорости ветра. Действительно, трудно представить, чтобы увлажнение поверхности изоляторов, обдуваемых ветром, возникало при большой его скорости. И наоборот, полное отсутствие ветра привело бы к быстрому «осушению» воздуха вблизи изолятора, конденсирующего влагу на своей поверхности, и для дальнейшего увлажнения потребовался бы подток увлажненного воздуха. Исходя из этих рассуждений, вероятность перекрытия изоляции должна иметь максимум при некоторой малой, но конечной скорости ветра.

Метеорологические условия, сопутствовавшие каждому случаю отключения ВЛ, были взяты из архива, выложенного на сервере «Погода России» [7]. Выбирались данные, полученные на ближайшей метеостанции. В архиве приведены значения температуры, давления и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, баллы облачности,

зафиксированные 4 раза в сутки: в 00-00, в 06-00, в 12-00 и в 18-00. Поскольку время отключения ВЛ не всегда совпадало с временем фиксации метеословий, то производилась линейная аппроксимация между точками измерений.

Всего было обработано 137 отключений обеих ВЛ. При обработке выбирались данные, относящиеся к одному из указанных метеофакторов. Из полученных выборок отсеивались данные, выходящие за некоторые выбранные пределы. Оставшиеся данные разбивались на интервалы, в каждом из которых подсчитывалось число событий, и это число относилось к общему числу отобранных данных, т.е. к 100 %. Таким образом получали частоту (вероятность) возникновения отключения от того или иного метеорологического параметра.

На рис. 4 приведена интегральная зависимость частоты отключений ВЛ от относительной влажности воздуха. Зависимость построена по 68 отключениям из общего числа отключений ВЛ, произошедших при влажности воздуха более 83-100 %.

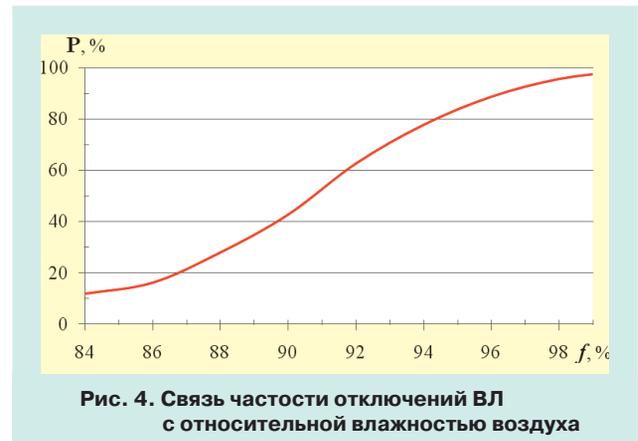


Рис. 4. Связь частоты отключений ВЛ с относительной влажностью воздуха

В статистику отключений ВЛ в зависимости от перепада температуры были включены все случаи, происходившие в интервалах перепада от -8 до +8 градусов. Таких случаев оказалось большинство 118 из 137.

На рис. 5 приведено дифференциальное распределение частоты отключений в зависимости от перепада температуры. Видно, что две трети отклю-



Рис. 5. Связь с перепадом температуры в течение 3-6 часов до отключения



Рис. 6. Связь частоты отключений ВЛ со скоростью ветра

чений в выбранной группе возникли при понижении температуры в диапазоне $\Delta T = 0 \dots -6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Связь вероятности отключений со скоростью ветра отражена на рис. 6. В выборку вошли данные со скоростью ветра до 8 м/с включительно. Их оказалось 134 из 137. Видно, что максимальное количество отключений произошло при скорости ветра 2 м/с, а более 80% всех отключений возникли при скорости ветра до 4 м/с включительно.

По результатам анализа связи с метеофакторами можно сделать следующие выводы.

Перекрытие гирлянд загрязненных изоляторов могло иметь место при следующем сочетании метеофакторов:

- предутреннее понижение температуры после жаркой погоды, имевшей место накануне и продолжавшейся вплоть до ночного времени;
- малой скорости ветра;
- высокой (более 82 %) относительной влажности воздуха.

Этот вывод надо сопроводить следующими оговорками. Полученные метеоусловия относятся только к месту расположения метеостанции. Необходимо учитывать локальные усиления относительной влажности воздуха, которые могли иметь место на трассе ВЛ в низине, по болоту или лесной просеке. Тоже можно сказать и о скорости ветра. В низинах или в лесной просеке она может быть существенно меньше, чем на метеостанции.

Косвенное подтверждение возможному влаго-разрядному механизму перекрытия гирлянд дают также данные электронно-оптического обследования ВЛ, подтверждающие, что интенсивность разрядных процессов на изоляторах увеличивается к утренним часам.

Еще одно косвенное подтверждение возможности перекрытия загрязненных изоляторов можно найти из статистики отключений ВЛ 220 кВ, эксплуатируемых Западно-Сибирским ПМЭС. В ней доля идентифицированных перекрытий гирлянд в статистике отключений доминирует над всеми остальными.

Вместе с тем в общей статистике отключений присутствует значительная доля отключений по не-

выясненным причинам, которые, в первую очередь, нужно отнести к «птичьим» отключениям. Косвенное доказательство перекрытия по струе помета видится в том, что многие найденные места перекрытия имели ожоги провода дугой на расстоянии 30-50 см от зажима.

ВЫВОДЫ

Совпадение по сезону года и времени суток двух возможных причин перекрытия изоляции ВЛ не дает возможности предпочтительного выбора одной из них.

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

При испытаниях влагоразрядных характеристик изоляции требуется метод, более адекватно воспроизводящий метеорологические условия в момент отключения ВЛ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Kaiser. Der Mausebussard als Ursache der einpoligen Freileitungsfehler in 110 kV-Hochspannungsnetzen // ETZ A, 1970, 91. С.313-317.
2. Арбузов Р.С., Овсянников А.Г. «Птичьи» отключения ВЛ. Проблема и решения // Новости электротехники. 2008. № 4.
3. J.M. Seifert. Investigation of bird streamer flashover at 400 kV overhead transmission line composite insulator sets // Proc. 13th ISH, Rotterdam, 2003.
4. H. Vosloo, C. van Royen. Guarding Against Bird Outages // Transmission and Distribution World, April 2001. – С.70-80.
5. 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.
6. J. G. H. Wessels. Hydrophobins, unique fungal proteins // Mycologist, 2000, vol. 14, part 4.
7. Электронный ресурс: URL: <http://meteo.info-space.ru/>

Боровицкий Василий Геннадьевич – зам. гл. инженера ОАО «Тюменьэнерго» (3462) 776395 VorovitskiyV@id.te.ru

Овсянников Александр Георгиевич – докт. техн. наук, профессор НГТУ, главный инженер филиала ОАО «Электросетьсервис ЕНЭС» - Новосибирская СЛБ oag@nspp.ru