

# Изолирующие подвески НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

**ПО «ФОРЭНЕРГО» разработаны комплектные изолирующие подвески нового поколения, обеспечивающие: снижение уровня радиопомех, негативно влияющих на человека и всю экосистему в целом, значительный экономический эффект от снижения потерь на коронирование, повышение срока службы изоляторов за счет замедления их старения, а также другие важные преимущества.**

**Коростелев Я.Е.,**

аспирант кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», начальник отдела перспективных разработок АО «Энергия+21»

**П**роблема экономичности работы линий электропередачи высокого напряжения (220 кВ и выше) при их малой загруженности в настоящее время связана не только и не столько с потерями в проводах от токов нагрузки, сколько с потерями на корону [1]. Прямым следствием эффекта короны являются радиопомехи на ВЛ, которые могут возникать как от коронирования на проводах, так и вследствие искровых разрядов на элементах изоляторов, пробоя и частичного перекрытия дефектных изоляторов, короны на заостренных элементах линейной арматуры, а также из-за искрения в плохих контактах линейной арматуры и между изоляторами (рисунок 1). Очевидно, что для повышения эффективности работы линий электропередачи высокого напряжения необходимо снижать уровень радиопомех, исключать появление видимой короны и повышать дугостойкость.

Широко распространенным и эффективным способом предотвращения повреждения изоляторов высоковольтной дугой во многих странах мира является применение на изолирующих подвесках защитных экранов, совмещающих в одном устройстве ряд функций: защиту от воздействия силовой дуги, выравнивание электрического потенциала по длине гирлянд изоляторов и снижение величины напряженности электрического поля. На текущий момент создание новых конструкций изолирующих подвесок со специальной арматурой и изоляторами является активным направлением исследований и разработок в области изоляции воздушных линий. Эти предпосылки и стали отправной точкой для начала в ПО «ФОРЭНЕРГО» инициативной работы по созданию комплектных изолирующих подвесок нового поколения типа ИПС на классы напряжения 220–750 кВ (рисунок 2).

## ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДВЕСОК ТИПА ИПС

Согласно информации, приведенной в [2], средние по России среднегодовые удельные потери мощности и энергии на корону ВЛ 220 кВ составляют 25 603 Вт·ч/м. Это суммарные потери от коронных разрядов на проводах, арматуре и изоляторах. По экспертным оценкам размер потерь от коронирования распределяется следующим образом: провода — 70%, арматура и изоляторы — 30%.

Исходя из приведенных данных (с учетом таблицы 1) можно сделать небольшое технико-экономическое обоснование применения комплектных изолирующих подвесок нового поколения типа ИПС. Среднегодовые удельные потери мощности и энергии на корону ВЛ при применении новых подвесок (арматура и изоляторы) сокращаются на 6,0%, то есть на 1536,18 Вт·ч/м. Соответствен-



Рис. 1. Корона на ВЛ

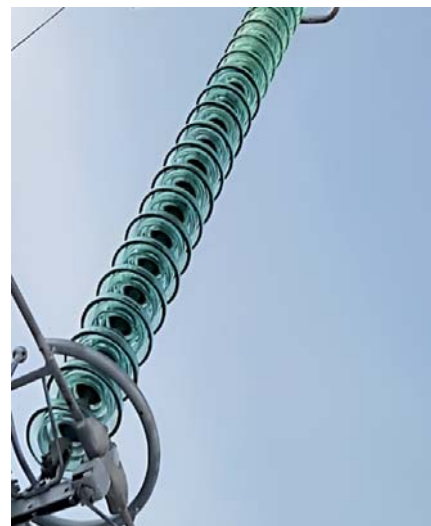


Рис. 2. Подвеска типа ИПС на ВЛ 330 кВ

но для двухцепной ВЛ 220 кВ протяженностью, например, 315 км снижение потерь мощности и энергии на корону составит 967 793,4 кВт·ч в год. При стоимости электроэнергии в среднем 5 руб. за 1 кВт·ч экономия от сокращения потерь на корону составит 4 838 967,00 руб. в год. При общей стоимости изоляторов со сниженным уровнем радиопомех для такой ВЛ — 468 млн руб. с НДС (стоимость арматуры считаем практически неизменной), дополнительная стоимость изоляторов со сниженным уровнем радиопомех по сравнению с изоляторами обычного исполнения составляет около 8% и равна 37,44 млн руб. с НДС. Таким образом, окупаемость применения изоляторов со сниженным уровнем радиопомех на данной ВЛ составит около 7,7 лет. По истечении указанного срока, ежегодная экономия средств будет составлять те же 4 838 967,00 руб. в год (без учета инфляции).

Вышеуказанные расчеты подтверждаются многолетней зарубежной практикой линейного строительства с применением изолирующих подвесок со сниженным уровнем радиопомех. Кроме того, при применении подвесок со сниженным уровнем радиопомех увеличивается срок службы изоляторов за счет снижения уровня электрического поля в наиболее нагруженных точках изолятора, а также за счет снижения ионизации воздуха, электрохимической эрозии и частичных разрядов на изоляторах.

Оценку потерь на корону в некотором приближении можно провести путем анализа полученных в результате испытаний значений уровня радиопомех. Потери мощности на корону определяются работой сил электрического поля по продвижению ионов, образующихся при коронном разряде у поверхности проводников через воздух. Согласно [3], потеря мощности от короны равна:

$$P_k = bU(U - U_0) \quad (1)$$

где  $b$  — геометрический коэффициент;  $U$  — фазное напряжение;  $U_0$  — критическое напряжение короны.

Анализируя результаты испытаний подвесок ИПС (таблица 1, рисунок 3), можно наблюдать линейную зависимость уровня радиопомех от приложенного напряжения. Так как

Табл. 1. Результаты измерений уровня радиопомех

%	Фон установки без объекта, дБ	Напряжение, кВ	Среднее значение, дБ
110	10	254,1	44
100	10	231,0	42
90	10	208,0	39
80	10	184,8	37
70	10	161,7	32
60	10	138,6	29
50	10	115,5	26
40	10	92,4	24
30	10	69,3	16

геометрия подвески и условия проведения испытаний остаются неизменными, можно предположить, что уровень радиопомех обуславливается совокупной напряженностью на элементах подвески при превышении значения напряженности, равного критическому значению для коронообразования. Поскольку для неизменной геометрии напряженность поля прямо пропорциональна приложенному напряжению, можно предположить, что

$$A \sim U, \quad (2)$$

где  $A$  — уровень радиопомех, дБмкВ.

Приняв в качестве  $U_0$  величину напряжения, при котором достигается предельное значение уровня радиопомех, с учетом (1) можно предположить следующую зависимость:

$$P_k \sim A. \quad (3)$$

Уточнение (3) с учетом фактических значений  $b$  является пред-

метом текущих исследований ПО «ФОРЭНЕРГО», однако пропорциональный характер зависимости подтверждает приведенное выше технико-экономическое обоснование.

### ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДВЕСОК ИПС

В конструкции подвесок применены изоляторы нового поколения со сниженным уровнем радиопомех [4], а также арматура со сниженным уровнем радиопомех, включая арматуру, ранее не применяемую в РФ. Подвески оснащены экранными системами для выравнивания уровня напряжений, снижения радиопомех и повышения дугостойкости. Специалистами ПО «ФОРЭНЕРГО» в процессе проектирования использовалась современная технология моделирования методом конечных элементов, позволяющая оценить напряженность электрического поля подвески с учетом влияния ме-

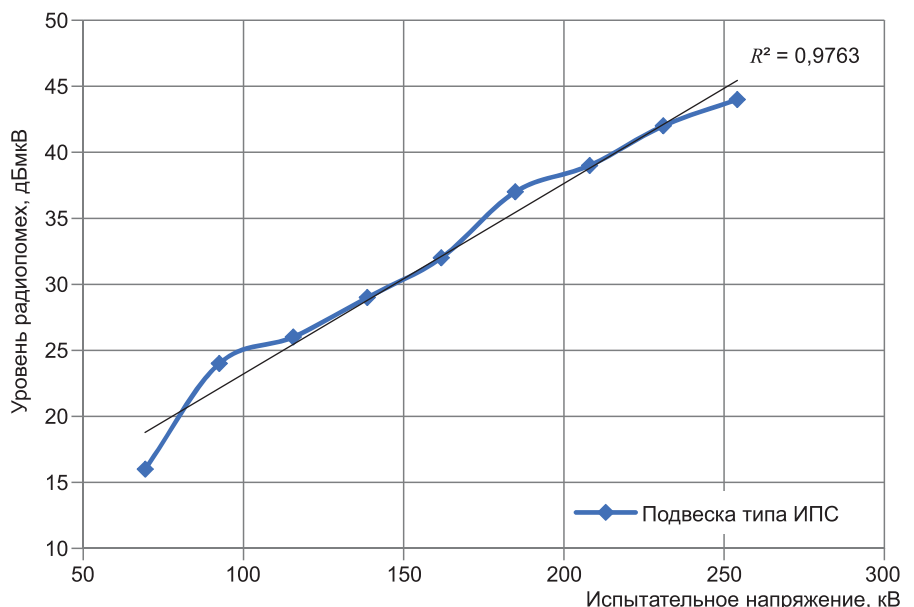


Рис. 3. Зависимость уровня радиопомех от приложенного напряжения

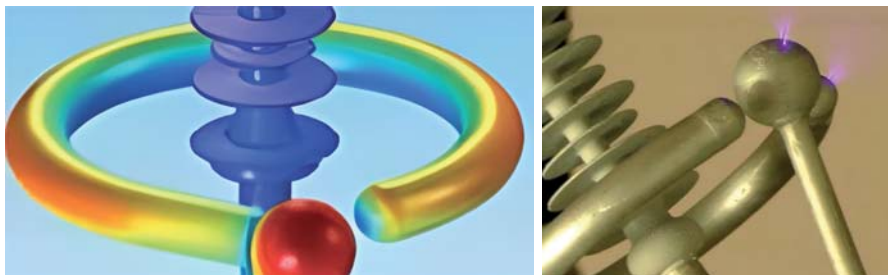


Рис. 4. Моделирование электрического поля при разработке конструкции экранов

таллических элементов опоры и соседних фаз. Новые изолирующие подвески разрабатывались в несколько этапов с корректировкой ранее принятых технических решений по результатам предварительного моделирования и последующих лабораторных испытаний прототипов. В результате была создана оптимальная экранная система, позволяющая значительно снизить уровень радиопомех изолирующих подвесок (рисунок 4).

Рассмотрим подробнее элементы комплектных изолирующих подвесок. Стеклопластиковые изоляторы со сниженным уровнем радиопомех выпускаются заводом «ЮМЭК» (Южноуральск). Применение самого современного технологического оборудования и используемые в конструкции ноу-хау обеспечивают следующие преимущества новых изоляторов: снижение уровня радиопомех, негативно влияющих на человека и всю экосистему в целом; значительный экономический эффект от снижения потерь на коронирование; снижение негативного влияния на работу устройств передачи сигналов беспроводных сетей и радиосвязи; повышение срока службы изоляторов за счет замедления их старения, благодаря уменьшению случаев возникновения коронных разрядов.

Арматура со сниженным уровнем радиопомех и защитные экраны производятся на ООО «МЗВА-ЧЭМЗ» (Чкаловск, Нижегородская обл.). Можно отметить следующие особенности конструкции элементов комплектных изолирующих подвесок, выпускаемых

ООО «МЗВА», обеспечивающих снижение уровня радиопомех:

- все кромки и углы на арматуре хорошо скруглены, уменьшены выступы и исключены острые края;
- защитное цинковое покрытие на арматуре гладкое, особенно в точках максимального градиента напряжения, без трещин, забоин, вздутий, наплывов цинка, крупинок гартцинка, рисок, царапин;
- головки болтов скруглены и экранированы, установленные в гайках шпильки экранируются укладкой в специальные канавки;
- предусмотрены защитные устройства для экранирования выступов на зажимах проводов.

Типовые проектные решения изолирующих подвесок со сниженным уровнем радиопомех и повышенной дугостойкостью (согласно альбому ИПС 220-500 ЛР1-ТМ для ВЛ 220–500 кВ) были представлены на Международном форуме «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ-2023». Совместная разработка АО «ЮМЭК» и ООО «МЗВА-ЧЭМЗ» — предприятий, входящих в ПО «ФОРЭНЕРГО», — стала победителем в соответствующей номинации в конкурсе инновационных разработок, проводимом в рамках форума.

На стадиях проектирования и запуска в производство нового изделия основным объективным критерием оценки конструкции является проведение испытаний. В испытательной лаборатории АО «ЮМЭК» были проведены измерения радиопомех новых изолирующих подвесок на соответствие требованиям ГОСТ Р 51097-97

«Радиопомехи промышленные от гирлянд изоляторов и линейной арматуры. Нормы и методы измерений». Допустимый уровень согласно ГОСТ Р 51097-97 составляет 55 дБ (таблица 1).

Напряжение радиопомех от арматуры и изоляторов, входящих в состав новой подвески, не превышает 44 дБмкВ на частоте (0,5+0,05) МГц при испытательном напряжении, равном  $1,1U/\sqrt{3}$ . Напряжение радиопомех от стандартной гирлянды изоляторов составляет 55 дБмкВ. Таким образом, при применении на ВЛ подвесок с пониженным уровнем радиопомех снижение потерь электроэнергии на корону и поверхностные разряды на изолирующих подвесках составит не менее 20%.

## ВЫВОДЫ

Преимуществами комплектных изолирующих подвесок нового поколения согласно альбому ИПС 220-500 ЛР1-ТМ на классы напряжения 220–500 кВ, предлагаемых компанией «ФОРЭНЕРГО» являются:

- сниженный уровень радиопомех, негативно влияющих на человека и всю экосистему в целом, а также на работу устройств и передачу сигналов беспроводных сетей и радиосвязи;
- значительный экономический эффект от снижения уровня потерь и помех;
- повышение дугостойкости гирлянд изоляторов;
- повышение срока службы изоляторов за счет снижения их старения под воздействием коронных разрядов.

Предложенное комплектное решение поможет упростить процессы проектирования, комплектации и строительства ВЛ, а высокое качество и надежность продукции позволит новым подвескам найти широкое применение на отечественных электросетевых объектах. Строительство ВЛ с применением изолирующих подвесок нового поколения в России уже началось. **Р**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беляева Л.А., Булатов Б.Г. Оценка потерь электроэнергии на корону по данным телеметрии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика, 2007, № 20(92). С. 43–45.
2. Тамазов А.И. Потери на корону и их снижение в сетях 220 кВ и выше // Электро, 2004, № 4.
3. Тамазов А.И. О проблемах расчета потерь на корону воздушных линий электропередачи // Электричество, 2009, № 7. С. 20–27.
4. Коростелев Я.Е., Ефимов А.Ю., Ефимов В.Ю., Ким Е.Д. Высоковольтный подвесной изолятор. Патент № RU2722921C2. Заявл. 16.07.2018; опубл. 04.06.2020.

Отличные возможности для высокой надежности!

## Ведущие отечественные производители линейной арматуры и изоляторов для ВЛ и ПС 0,4-1150 кВ

СТЕКЛЯННЫЕ  
ИЗОЛЯТОРЫ

ЮМЭК



ЛИНЕЙНАЯ АРМАТУРА,  
УСТРОЙСТВА ПТИЦЕ-  
И ГРОЗОЗАЩИТЫ, ЖАЛ

ЗАВОД  
ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ  
АРМАТУРЫ



ПОЛИМЕРНЫЕ  
ИЗОЛЯТОРЫ

ИНСА



ФАРФОРОВЫЕ  
ОПОРНЫЕ СТЕРЖНЕВЫЕ  
ИЗОЛЯТОРЫ

VOLTA



Вся серийно выпускаемая продукция аттестована в ПАО «Россети»

### КОНТАКТЫ СЕРВИСНО-СБЫТОВЫХ КОМПАНИЙ ОБЪЕДИНЕНИЯ:

ООО «ФОРЭНЕРГО-ТРЕЙД»

111398, г. Москва, ул. Лазо, д. 9,  
+7 (495) 780-51-65  
forenergo-trade.ru  
zakaz@forenergo-trade.ru

ООО «ФОРЭНЕРГО-ЮИК»

457040, Челябинская область,  
г. Южноуральск, ул. Заводская, 3  
+7 (351) 344-22-44  
uik.ru uik@uik.ru

ООО «ФОРЭНЕРГО СПЕЦ КОМПЛЕКТ»

109029, г. Москва,  
ул. Большая Калитниковская, д. 42  
+7 (495) 305-58-73, (35134) 4-22-44  
forenergo-spezkomplekt.ru