

РАСЧЕТ СУБКОЛЕБАНИЙ ПРОВОДОВ ЛЭП СВН С УЧЕТОМ УПРУГОВЯЗКИХ СВОЙСТВ РАСПОРОК

Проблема колебаний проводов расщеплений фазы воздушной линии (ВЛ) под действием ветра на участках между распорками (субколебаний) стала актуальной в связи с массовым строительством линии электропередач сверхвысокого напряжения (ЛЭП СВН). При таких колебаниях провода расщепленной фазы двигаются, как правило, в противофазе, сближаясь и удаляясь один от другого. В результате на распорки действуют силы, равные геометрической сумме сил, приложенных от проводов двух смежных подпролетов. Эти силы могут быть большими и вызывать усталостное повреждение лучей распорок. Такого рода повреждения неоднократно фиксировались в энергосистемах нашей страны и за рубежом.

Согласно зарубежным данным, одним из действенных способов ограничения субколебаний является применение специальных упругих и вязких элементов в конструкции распорок. В связи с этим ВПО "Союзэлектросеть-изоляция" разрабатывает новые типы распорок, включающих указанные элементы. Для проверки эффективности действия таких распорок и оптимизации их характеристик по предложению ВПО "Электросетьизоляция" в Белорусском политехническом институте разработана комплексная математическая модель и программа расчета на ЭВМ субколебаний проводов ЛЭП СВН и динамических нагрузок на распорки.

В данной статье излагается алгоритм учета влияния упругих и вязких свойств распорок на субколебания проводов ЛЭП СВН. В соответствии с этим алгоритмом сложное движение распорки проводов ЛЭП может рассматриваться как совокупность трех движений: поступательного перемещения центра масс, вращательного движения около центра масс как неподвижной точки и упруговязкого изменения размеров распорки. Поэтому краевые условия для уравнений движения участков проводов между распорками рассчитываются по выражению

$$\bar{R}_{ji} = \bar{R}_{ci} + \bar{r}_{ji} + \Delta \bar{L}_{ji}, \quad j = 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, m,$$

где \bar{R}_{ci} – радиус-вектор, описывающий положение центра масс распорки относительно неподвижной системы отсчета $Oxyz$ (рис. 1); \bar{r}_{ji} – радиус-векторы, описывающие положение вершины распорки относительно системы отсчета $Ox'y'z'$, поступательно перемещающейся вместе с центром масс; $\Delta \bar{L}_{ji}$ – вектор перемещения точек крепления проводов и распорок, обусловленных упруговязкими деформациями распорки (рис. 1); n – число проводов в фазе; m – число распорок, установленных в пролете.

Алгоритмы расчета движения проводов и распорки как твердого тела излагаются в [1]. Для упрощения расчета упруговязких деформаций криволинейные элементы распорки заменяются прямолинейными пружинами, соеди-

няющими ее вершины. Благодаря такому подходу упруговязкая пространственная реакция тела распорки заменяется деформациями растяжения—сжатия системы прямолинейных пружин, упруговязкие свойства которых определяются опытным путем.

В общем виде вектор упруговязкого изменения размеров распорки равен

$$\Delta \bar{L}_{j+1,i} = \Delta \bar{L}_{ji} - \Delta \bar{L}_{j+1,i}, \quad j = 1, \dots, p,$$

где p — число прямолинейных элементов расчетной модели распорки; $\Delta \bar{L}_{ji}$ — вектор упруговязкого удлинения j -го элемента модели распорки ($\Delta \bar{L}_{p+1,i} = \Delta \bar{L}_{1i}$, $\Delta \bar{L}_{p+1,i} = \Delta \bar{L}_{1i}$).

В свою очередь вектор $\Delta \bar{L}_{ji}$ равен

$$\Delta \bar{L}_{ji} = \frac{1}{2} \Delta l_{ji} \bar{k}_{ji}, \quad (1)$$

где Δl_{ji} — модуль удлинения j -го элемента распорки; \bar{k}_{ji} — единичный вектор направления j -го элемента распорки относительно неподвижной системы координат.

Расчет Δl_{ji} выполняется с помощью опытных диаграмм растяжения—сжатия распорки, полученных в результате лабораторных испытаний в ВПО "Союзэлектросетизоляция". Нагрузочная и разгрузочная ветви этих диаграмм имеют вид, близкий к параболе, поэтому для обработки опытных данных используется интерполяционная формула Лагранжа [2]. С помощью этой формулы определяются удлинения элементов модели распорки для промежуточных значений усилий в ней.

Формулы для расчета сил, действующих на распорку в процессе субколебаний, приведены в [1]. Для упрощения уравнений динамики распорки эти силы выражены относительно подвижной системы отсчета $O'x'y'z'$ (рис. 1),

неизменно связанной с распоркой. Для определения составляющих сил, вызывающих деформации растяжения и сжатия распорки, спроектируем силы, действующие от проводов на распорку, на направление векторов \bar{k}_{ji}'' , описывающих положение элементов распорки относительно системы отсчета $O'x'y'z''$:

$$\|F_{ji}\| = \|M_j\| \|T_{ji}''\|, \quad (2)$$

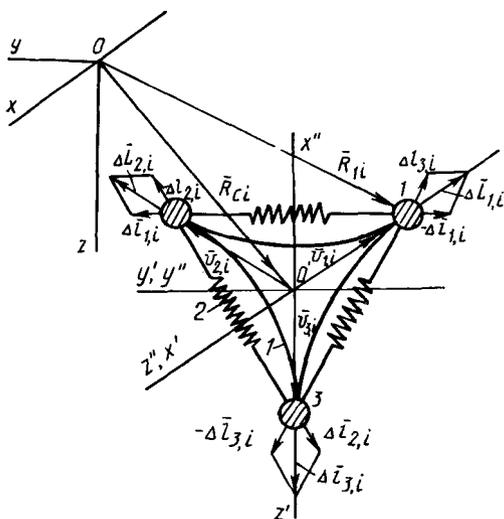


Рис. 1. Расчетная модель упруговязких свойств распорок ($n = 3$):

1 — криволинейный элемент распорки;
2 — его расчетная модель в виде прямолинейной пружины.

где $T_{ji}'' = \parallel \begin{matrix} T_{xji}'' \\ T_{yji}'' \end{matrix} \parallel$ — матрица сил, действующих от проводов на распорку.

Входящая в (2) матрица M_j является матрицей направляющих косинусов векторов k_{ji} относительно подвижной системы координат.

Если учесть, что провода расщепленной фазы располагаются в вершинах правильного многоугольника, эта матрица имеет вид

$$M_j = \parallel \cos \alpha_{1j} \cos \alpha_{2j} \parallel, \quad j = 1, \dots, p,$$

где $\alpha_{2j} = \cos [(180^\circ - \beta_M)(j-1)]$; $\alpha_{1j} = 90^\circ + \alpha_{2j}$; $\beta_M = \frac{180^\circ(n-2)}{n}$ — угол правильного многоугольника, образованного вершинами распорки.

Вид деформации распорки зависит от направления сил \bar{F}_{ji} , приложенных по концам элемента распорки. При совпадении направлений действия этих сил распорка совершает движение только как твердое тело. Когда эти силы имеют встречное или противоположное направление, кроме перемещения распорки как твердого тела, наблюдаются деформации растяжения и сжатия. Разность сил, действующих по концам распорки, вызывает ее перемещение как твердого тела. Одинаковая часть этих сил F_{ji}^D — деформацию растяжения или сжатия. Для удобства вычислений силы, вызывающие деформацию растяжения, обозначим плюсом, а силы сжатия — минусом. Определение вида деформации и присвоение соответствующего знака сила F_{ji}^D производится путем сопоставления принятого направления j -го элемента распорки (вектора \bar{k}_{ji}) с направлением силы, действующей в $(j+1)$ -й вершине распорки, которая спроектирована на оси подвижной системы координат:

$$F_{ji}^D = |F_{ji}^D| \operatorname{sign}(a_1 \cos \alpha_{2j}) \operatorname{sign}(a_2 F_{j+1,i}''),$$

где $F_{j+1,i}'' = F_{j+1,i} \cos \alpha_{2j}$; $a_1 = a_2 = 1$ — числовые константы, которым присваиваются соответствующие знаки аргументов функций sign .

Если $\cos \alpha_{2j} = 0$, то справедливо следующее выражение:

$$F_{ji}^D = |F_{ji}^D| \operatorname{sign}(a_1 \cos \alpha_{1j}) \operatorname{sign}(a_2 F_{j+1,i}''),$$

где $F_{j+1,i}'' = F_{j+1,i} \cos \alpha_{1j}$.

Полученные таким образом значения F_{ji}^D используются для расчета упруговязких удлинений распорки по формуле Лагранжа для нагруженной и разгруженной ветвей диаграммы.

Для расчета краевых условий, обусловленных упруговязкими изменениями размеров распорки, необходимо определить также проекции векторов \bar{k}_{ji}'' , входящих в (1):

$$\bar{k}_{ji}'' = A_t \bar{k}_{ji}''$$

где A_t — транспонированная матрица направляющих косинусов между системами отсчета $Ox''y''z''$ и $Ox'y'z'$ (рис. 1).

Формулы для расчета элементов матрицы приведены в [1].

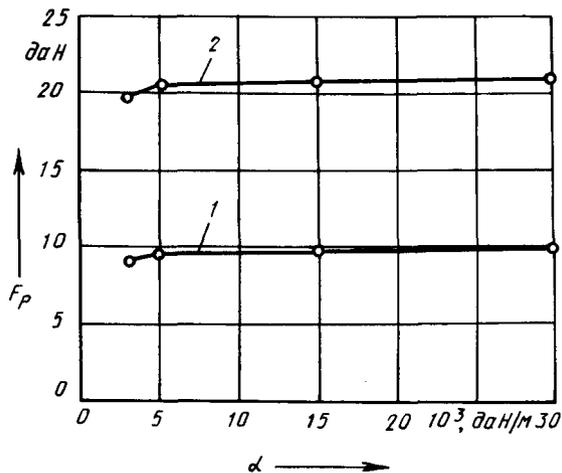


Рис. 2. Зависимости максимальных изгибающих усилий, действующих на луч распорки, от жесткости распорок (расщепленная фаза 5×АС-540/19, длина пролета – 180 м, расстояние между распорками – 60 м, шаг расщепления – 0,4 м, тяжение – 180 кН, скорость ветра – 17 м/с, угол атаки – 0,09 рад). 1 – при удалении проводов; 2 – при сближении проводов.

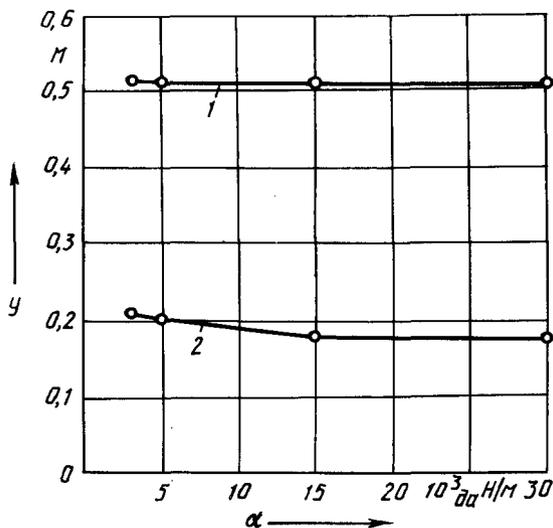


Рис. 3. Зависимости максимальных и минимальных горизонтальных расстояний между средними точками верхней пары проводов в пролете от жесткости распорки: 1 – максимальные горизонтальные расстояния; 2 – минимальные горизонтальные расстояния.

По разработанному алгоритму составлена программа расчета на ЭВМ субколебаний проводов расщеплений фазы с учетом упругих и вязких свойств распорок.

Составленная программа используется для исследования влияния жесткости распорок на интенсивность процесса субколебаний проводов ЛЭП СВН. На первом этапе исследований жесткость распорки принималась независимой от приложенной силы и варьировалась в диапазоне 3000—30 000 даН/м.

Результаты расчетов для фазы с пятью проводами приведены на рис. 2, 3. Анализ полученных результатов показывает, что при изменении жесткости распорки в указанных пределах параметры, характеризующие субколебания проводов, изменяются незначительно. Более существенное влияние жесткости распорки на параметры субколебаний следует ожидать в области ее значений, меньших 1500 даН/м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стрелюк М.И., Сергей И.И. — Влияние расщепленной фазы гибкой ошиновки ОРУ на динамику ее параметров при коротких замыканиях. — Изв. вузов СССР. Энергетика, 1981, № 4, с. 6—12. 2. Березин И.С., Жидков Н.П. — Методы вычислений. — М., 1966. Т.1 — 632 с

УДК 621.316.35.001.24

М.И.СТРЕЛЮК, И.И.СЕРГЕЙ, канд-ты техн.наук,
Ю.В.БЛАДЫКО (БПИ)

РАСЧЕТ НА ЭВМ СТАТИКИ ГИБКОЙ ОШИНОВКИ РУ

В настоящее время проектные организации Минэнерго оснащены ЭВМ единой серии, на базе которых разрабатываются и внедряются системы автоматизированного проектирования работ (САПР) энергетических объектов. Одной из задач проектирования, подлежащих включению в САПР, является механический расчет гибкой ошиновки распределительных устройств (РУ) электрических станций и подстанций.

Существующие методы механического расчета гибкой ошиновки РУ основаны на ручном счете и поэтому предполагают ряд упрощений и допущений [1]. Использование таких методов сводит вычисление напряжений в проводах РУ к решению известного уравнения состояния, выведенного для проводов ЛЭП и дополненного поправочным коэффициентом, который учитывает наличие натяжных гирлянд изоляторов и спусков к электрическим аппаратам. При составлении формул для расчета поправочного коэффициента и стрел провеса предполагают, что провода и гирлянды изоляторов имеют очертание параболы, нагрузки действуют нормально к горизонтальному пролету, кривая провисания проводов и гирлянд является плоской линией, а длина гирлянд равна их горизонтальной проекции. Указанные допущения ограничивают использование упрощенных методов частными случаями расположения шин и спусков. Поэтому они не могут быть использованы для САПР, так как данная система включает программы, пригодные для решения задач в общем виде.