

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЁТА ДИНАМИЧЕСКИХ УСИЛИЙ НА КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Потачиц Я.В. – старший преподаватель,  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

Ожидаемое применение в энергосистеме Республики Беларусь инновационных конструкций гибких проводов, переход на композитные провода требуют проведения исследований их поведения при возникновении электродинамических усилий при коротком замыкании. При возникновении короткого замыкания по проводникам электроустановки протекают токи в десятки раз больше токов нормального режима. При взаимодействии магнитных полей образованных этими токами создаются электродинамические силы. Расчет гибких токоведущих частей на электродинамическую стойкость заключается в определении мгновенного усилия на конструктивные элементы и максимального мгновенного напряжения в проводах электроустановки в переходном колебательном процессе. Таким образом, достоверное определение динамических нагрузок, с учетом действующих на опорные конструкции токоведущих частей возможно лишь при постановке динамической задачи.

Провода вместе с конструктивными элементами ОРУ образуют общую колебательную систему. По этой причине математическое описание этой задачи включает в себя уравнения динамики проводов и конструктивных элементов ОРУ, которые должны решаться совместно [1].

Гибкие проводники представляются гибкой упругой нитью, динамика которой при КЗ описывается уравнением движения (1), записанным в векторно-параметрической форме [1]:

$$T \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2} + \frac{\partial T}{\partial S} \cdot \frac{\partial \bar{R}}{\partial S} + \bar{f} = \rho \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где  $\bar{R}$  – мгновенное значение радиус-вектора, описывающего пространственное расположение провода, м;

$T$  – динамическое тяжение провода, Н;

$\bar{f}$  – вектор удельного электродинамического усилия, действующего на единицу длины провода, Н/м;

$\rho$  – масса единицы длины провода, кг/м.

При математической постановке задачи используется принцип связей механики. Согласно этому принципу действие проводов на конструктивные элементы замещается реакциями связей. По отношению к конструк-

тивными элементами они выступают как внешние силы. Стоит отметить, что упругая податливость, например, опорных изоляторов обусловлена собственной податливостью, деформациями несущих конструкций, подвижностью болтовых соединений, наличием эластичных прокладок под фланцами и др. [2].

В расчете динамики опорные изоляторы напряжением 110 кВ и выше представляются упругим консольным стержнем с равномерно распределенной массой и не изменяющейся жесткостью по длине. С одного конца изолятор жестко закреплен, а с другого на него действуют динамические усилия, обусловленные тяжениями в проводах (рисунок 1).

В общем случае на опорные изоляторы действуют силы, определяемые по формуле (2):

$$\bar{P}_i = \bar{T}_i + \bar{N}_i, \quad i = 1, 2, \quad (2)$$

где  $\bar{T}_i$  – векторы тяжения в точках крепления провода к изоляторам;

$\bar{N}_i$  – реакции связей, заменяющие действие проводов смежных пролетов.

Под воздействием слагающих динамической силы по осям  $x$  и  $y$  опорный изолятор начинает совершать вынужденные поперечные колебания (рисунок 1).

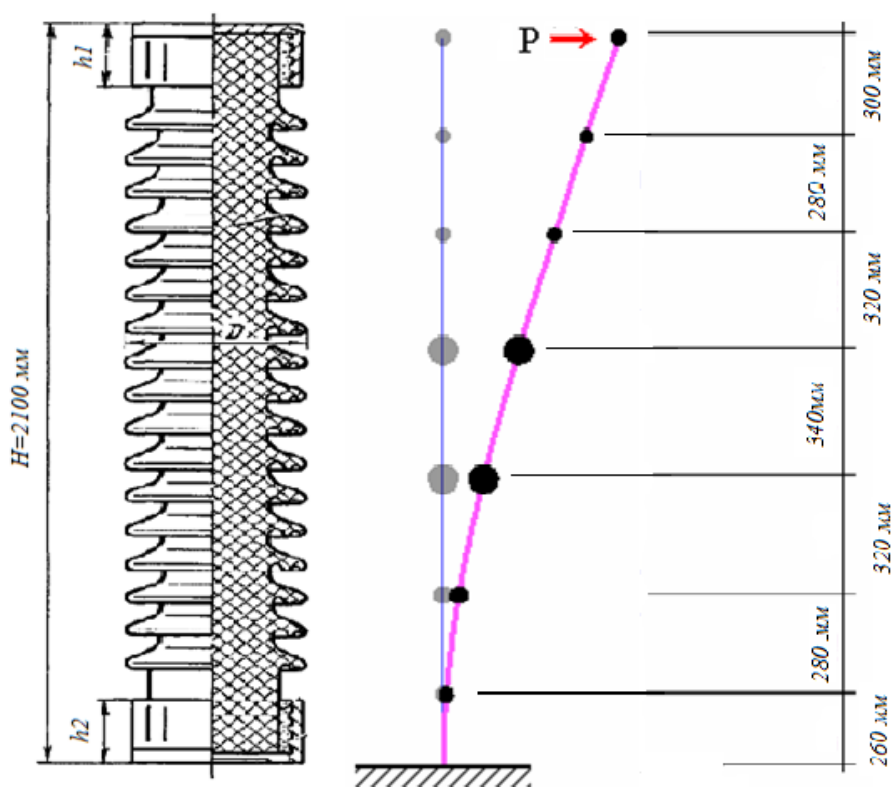


Рисунок 1 – Модель изолятора марки ИОС-110-600 при воздействии на него динамической силы

Экспериментально доказано, что упругая система с распределёнными параметрами и малым демпфированием при гармоническом возбуждении испытывает резонансные колебания на некоторых явно выраженных характерных частотах [3]. Согласно [1] при совпадении частот собственных колебаний конструктивных элементов ОРУ с частотой воздействующего динамического тяжения возможно двукратное увеличение перерезывающих сил и моментов, по сравнению с амплитудой приложенного тяжения.

С помощью разработанной на кафедре «Электрические станции» БНТУ компьютерной программы FLEBUS 2.0, а так же программного комплекса ЛИРА-САПР, были получены численные значения гармоник собственных и вынужденных колебаний опорного изолятора (таблица 1).

Таблица 1 – Частоты собственных и вынужденных колебаний

№ гармоники	Частота собственных колебаний изолятора ИОС-110-600, Гц	Частота вынужденных колебаний, Гц
1	0,115537	2,9411
2	0,887267	5,8821
3	1,525148	8,8232
4	2,672495	11,7643
5	4,516832	14,7054
6	5,439847	17,6464
7	7,334938	20,5875
8	9,139708	23,5286
9	9,871165	26,4697
10	12,028049	29,4124
11	13,554534	32,3519

По данным из таблицы 1 можно увидеть, что некоторые значения частот вынужденных колебаний близки к значениям собственных частот колебаний опорного изолятора, что означает, что рассматриваемая система потенциально может войти в резонанс, а, следовательно, величины перерезывающих сил и моментов будут больше допустимых, что может привести к возникновению опасных механических напряжений в материале корпуса изолятора и, как следствие, его разрушению.

#### Список литературы

1. Сергей, И.И. Динамика гибких проводов электроустановок энергосистем: Теория и вычислительный эксперимент : дис. ... д-ра техн. наук : 05.14.02 / И.И. Сергей. – Минск, 2002. – 324 л.
2. Долин А. П., Шонгин Г. Ф. Открытые распределительные устройства с жесткой ошиновкой.– М.: Энергоатомиздат, 1988. – 192 с.
3. Писаренко Г. С. Колебания механических систем с учетом несовершенной упругости материала. – Киев: Наукова думка, 1970. – С. 379.