

УДК 621.316

Динамический расчет опорных конструкций распределительных устройств

Зарихта К. С., Башаркевич Е.К.

Научный руководитель – к.т.н., доцент ПОНОМАРЕНКО Е.Г.

Одной из задач динамического расчета опорных конструкций распределительных устройств является определение собственных частот колебаний ее элементов [1]. Это необходимо для исключения совпадения частот собственных и вынужденных их колебаний. В качестве возбудителей колебаний, в данном случае, выступают подвижные элементы конструкции – токоведущие части распределительного устройства. Следовательно, за частоты вынужденных колебаний принимаются частоты колебаний проводников при коротком замыкании. Для определения собственных частот могут применяться метод конечных элементов и аналитические выражения для расчета тонкостенных конструкций [4].

В качестве шинных опор токоведущих шин в распределительных устройствах обычно используются опорно-стержневые изоляторы. В качестве примера рассмотрим опорный изолятор марки ИОС-110-600. Высота изоляторов составляет 2,1 м, масса – 71 кг, а экспериментальный модуль упругости – 120 кг/м².

Для удобства математического описания задачи используется принцип связей механики, в соответствии с которым действие проводов на опорные изоляторы заменяются реакциями связей. После этого рассматриваются затухающие колебания опорных конструкций под действием приложенных от проводов динамических сил.

При определении динамических прогибов изоляторов в разных плоскостях используется принцип независимости действия сил. Под действием составляющих динамической силы по осям x и y опорный изолятор совершает вынужденные поперечные колебания. Количество учитываемых в расчете гармоник собственных колебаний зависит от принятой погрешности расчета. Для вычисления поперечной силы с погрешностью 3 % необходимо удерживать не менее 11 гармоник. Значения частот собственных колебаний для опорного изолятора марки ИОС-110-600 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты собственных колебаний изолятора ИОС-110-600

| Гармоника | Частота, рад/с | Частота, Гц | Период, с |
|-----------|----------------|-------------|-----------|
| 1 | 0,137039 | 0,0218104 | 45,8497 |
| 2 | 0,690178 | 0,109845 | 9,10372 |
| 3 | 2,01333 | 0,320432 | 3,12079 |
| 4 | 4,14706 | 0,660025 | 1,5151 |
| 5 | 5,84133 | 0,929676 | 1,07564 |
| 6 | 9,52309 | 1,51565 | 0,659785 |
| 7 | 11,7949 | 1,87721 | 0,532705 |
| 8 | 14,2885 | 2,27408 | 0,439738 |
| 9 | 27,1959 | 4,32837 | 0,231034 |
| 10 | 41,1465 | 6,54867 | 0,152703 |
| 11 | 53,9142 | 8,58072 | 0,11654 |
| 12 | 73,6495 | 11,7217 | 0,085312 |
| 13 | 89,879 | 14,3047 | 0,0699071 |
| 14 | 108,186 | 17,2181 | 0,0580783 |

Экспериментально доказано, что упругая система с распределёнными параметрами и малым демпфированием при гармоническом возбуждении испытывает резонансные колебания на некоторых явно выраженных характерных частотах [4]. Каждой такой резонансной или собственной частоте соответствует собственная или нормальная форма распределения амплитуд колебаний изолятора. Характерные собственные формы прогибов и связанные с ними частоты определяются геометрической формой и размерами самого

изолятора, не зависят от внешних нагрузок и являются весьма важными динамическими характеристиками распределения его инерционных и жесткостных свойств.

В [3] приведены результаты численного расчета резонансных частот изолятора типа ИОС-110-400 в частотном диапазоне до 10000 Гц. Формы колебаний изолятора представлены на рисунках 1–4 и в таблице 2.

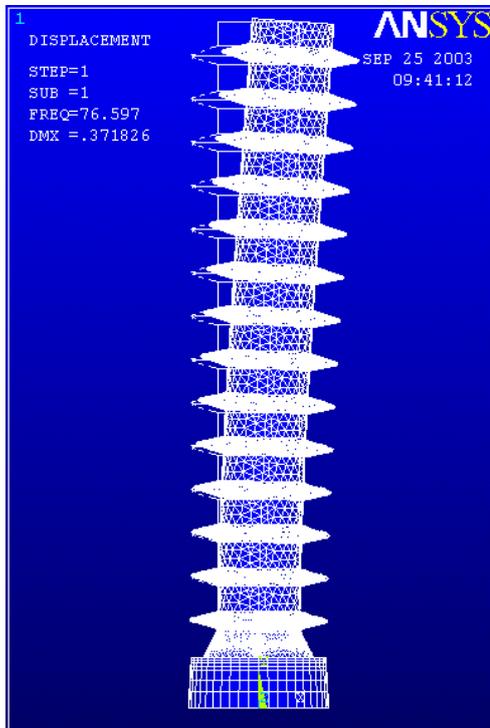


Рисунок 1 – 1-я собственная форма колебаний

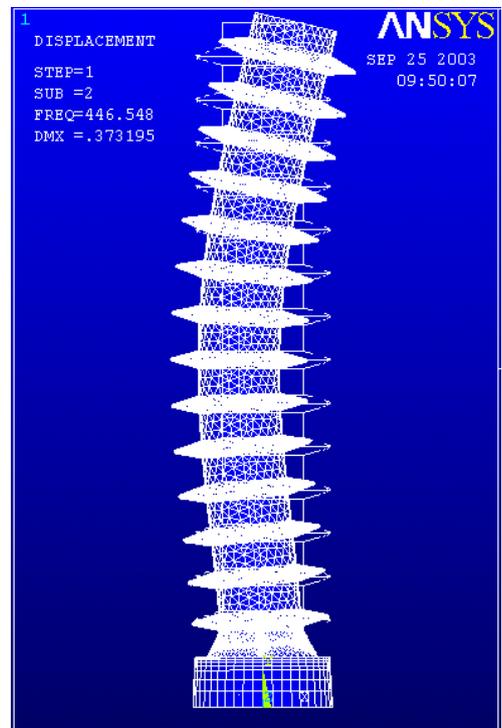


Рисунок 2 – 2-я собственная форма колебаний

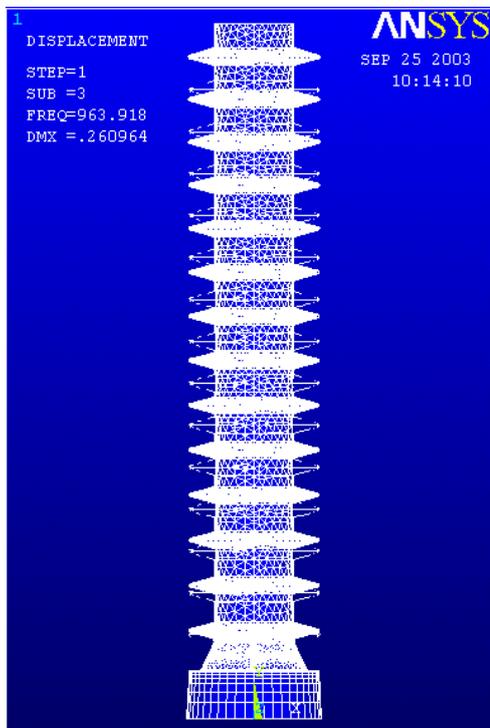


Рисунок 3 – 3-я собственная форма колебаний

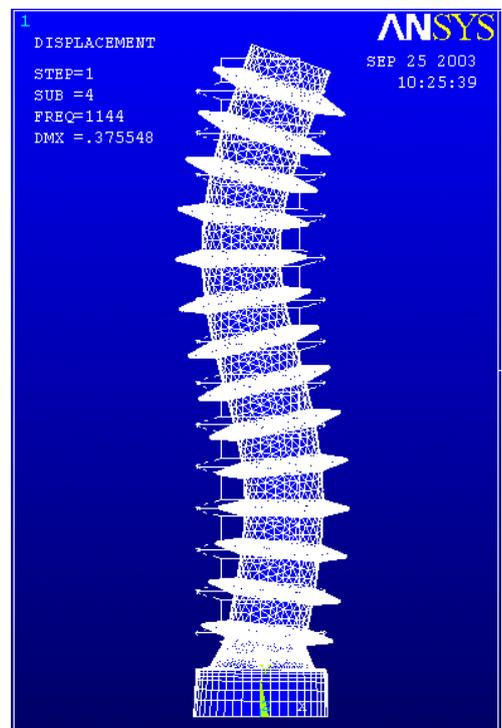
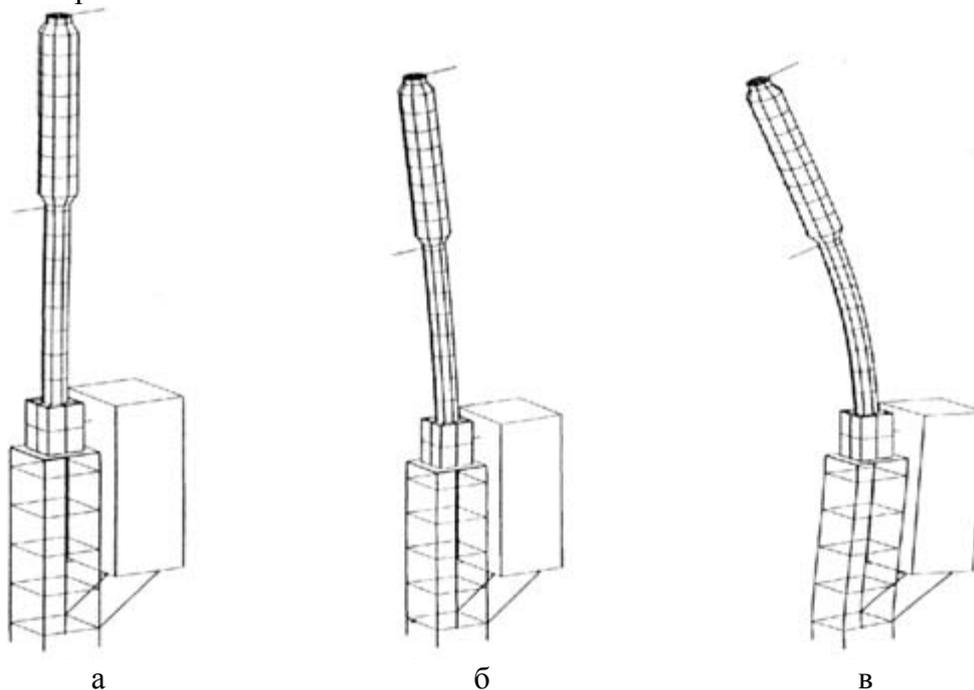


Рисунок 4 – 4-я собственная форма колебаний

Таблица 2 – Резонансные частоты собственных форм колебаний изолятора ИОС-110-400

| Порядковый номер формы колебаний | Частота, Гц | Порядковый номер формы колебаний | Частота, Гц |
|----------------------------------|-------------|----------------------------------|-------------|
| 1 | 76,6 | 9 | 4825,8 |
| 2 | 444,3 | 10 | 5101,6 |
| 3 | 965,2 | 11 | 6105 |
| 4 | 1141,3 | 12 | 6756,1 |
| 5 | 2014,6 | 13 | 7085,5 |
| 6 | 2857,2 | 14 | 8004,7 |
| 7 | 2964,4 | 15 | 8686,4 |
| 8 | 4075,1 | 16 | 9023,5 |

На рисунке 5 изображены первая и вторая собственные формы колебаний элегазового выключателя напряжением 245 кВ.



а – нормальное состояние аппарата;
 б – первая собственная форма (3,4 Гц); в – вторая собственная форма (20,3 Гц)
 Рисунок 5 – Собственные формы колебаний выключателя 245 кВ

Практический интерес при расчете динамики проводов на опорных изоляторах представляет определение наибольших перерезывающих сил и моментов с целью определения опасных сечений, в которых возникают наибольшие касательные и нормальные напряжения. Построение эпюр поперечной силы и изгибающего момента является одним из основных этапов при расчете конструкций на изгиб. По эпюрам определяется опасное сечение, т. е. сечение в котором может произойти разрушение изолятора.

Литература

1. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 2000. – 252 с.
2. Писаренко, Г. С. Колебания механических систем с учетом несовершенной упругости материала / Г. С. Писаренко. – Киев : Наукова думка, 1970. – 379 с.
3. Д 427618-003-30992818-2018. Мобильный индикаторный комплекс модели МИК-1 и МИК-2 : методические указания. – Екатеринбург : НПО "Логотех", 2018. – 70 с. УДК 621.3