

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРУШАЮЩИХ НАГРУЗОК НА ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

Потачиц Я. В. – к. т. н., доцент  
заведующий кафедрой «Электрические станции»,  
Пономаренко Е. Г. – к. т. н., доцент,  
декан энергетического факультета,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация:** при протекании токов короткого замыкания по токоведущим частям электроустановок возникают электродинамические силы, которые могут приводить к деформациям и даже разрушениям как самих проводников, так и основных электрических аппаратов. Аппараты при этом испытывают вынужденные изгибающие колебания в результате чего возникает риск их повреждения и как следствие нарушения электроснабжения потребителей. Работа посвящена определению разрушающих нагрузок на аппараты при динамическом действии токов короткого замыкания.

**Ключевые слова:** статическое воздействие, динамическое воздействие, короткое замыкание, собственные колебания, вынужденные колебания.

### DETERMINATION OF DESTRUCTIVE LOADS ON THE MAIN ELECTRICAL APPARATUS IN THE EVENT OF A SHORT CIRCUIT

**Abstract:** when short-circuit currents flow through live parts of electrical installations, electrodynamic forces arise which can lead to deformation and even destruction of both the conductors themselves and the main electrical apparatus. Apparatuses in this case experience forced bending oscillations as a result of which there is a risk of their damage and as a consequence of disruption of power supply to consumers. The work is devoted to determination of destructive loads on devices under dynamic action of short-circuit currents.

**Keywords:** static influence, dynamic influence, short circuit, natural oscillations, forced oscillations.

До последнего времени расчет на механическую прочность таких аппаратов как колонковые выключатели, измерительные трансформаторы тока, а также опорные изоляторы проводился лишь с учетом их статического нагружения, например, по заданному минимальному, статическому усилию на изгиб согласно выражению (1) [1]:

$$P_{\max} \leq P_{\text{доп}}, \quad (1)$$

где  $P_{\max}$  – максимальная расчетная нагрузка на аппарат;

$P_{\text{доп}}$  – допустимая нагрузка на аппарат.

Данный подход не учитывает динамический характер нагрузок, передающихся от проводов на электрические аппараты. Следовательно, возможное совпадение одной из частот собственных колебаний аппарата с частотой вынуждающей силы остается неучтенным. В [2] была предложена упрощенная инженерная методика расчета, в которой гибкие проводники вместе с аппаратами рассматривались как единая колебательная система при КЗ. При этом проводился частотный анализ вынужденных и собственных колебаний аппаратов, на основании которого подтверждалась возможность наступления резонанса. Определение разрушающих нагрузок на аппараты предлагалось проводить по выражению (2):

$$G_{\text{дин}} = G_{\text{ст}} + \mu P_0, \quad (2)$$

где  $G_{\text{дин}}$  – динамическое воздействие на аппарат при КЗ;

$G_{\text{ст}}$  – статическая нагрузка на аппарат, обусловленная весом аппарата и натяжением провода;

$P_0$  – вибрационное нагружение резонансной частоты;

$\mu$  – динамический коэффициент, обусловленный совпадением частот вынужденных и собственных колебаний аппарата.

Определенный интерес вызывает определение наиболее вероятного места разрушения, которое смещается от места закрепления аппарата к опорной траверсе при статической нагрузке к верхнему фланцу при динамической нагрузке как показано на рис. 1.

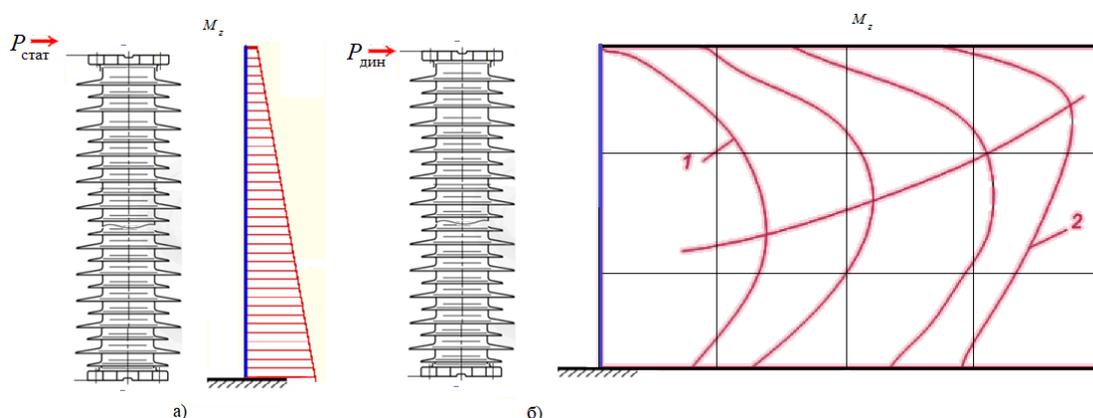


Рисунок 1 – Характер распределения механических напряжений по высоте изолятора при нагрузках: *а* – статических; *б* – динамических (ударных); *1* – малая сила удара; *2* – большая сила удара

Для основных типов аппаратов был проведен модальный анализ вынужденных и собственных колебаний. Результаты вычислительного эксперимента были получены в результате моделирования двухфазного короткого замыкания в типовом открытом распределительном устройстве 110 кВ. Диаграмма полученных тяжений представлена на рис. 2.

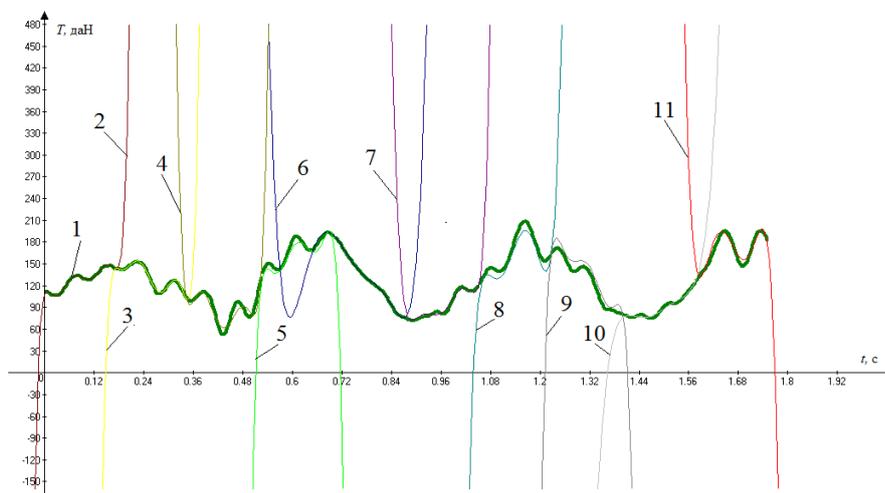


Рисунок 2 – График динамических тяжений при двухфазном КЗ

После разложения функции, описывающей кривую под номером 5 в ряд Фурье [3] были определены частоты собственных колебаний аппаратов с помощью ПК ЛИРА-САПР [4]. В результате чего динамические нагрузки на аппараты были определены согласно выражению (2).

Значения динамических усилий для сопоставления с паспортными данными представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение расчетных и паспортных данных

Тип аппарата	Номинальное напряжение, кВ	Минимальная разрушающая нагрузка на изгиб, даН	Расчетное значение динамического воздействия, даН
ТОГ	110	180	275 (431)
ВГТ	110	230	583
ИОС	110	600	560

#### Список литературы

1. Сергей, И. И. Динамика проводов электроустановок энергосистем при коротких замыканиях: теория и вычислительный эксперимент / И. И. Сергей, М. И. Стрелюк. – Минск : ВУЗ-ЮНИТИ, 1999. – 252 с.

2. Расчет гибких проводников электроустановок в условиях воздействия статических и электродинамических нагрузок. Усовершенствование векторно-параметрического метода механического и электродинамического расчета гибких проводников воздушных линий и распределительных устройств [Электронный ресурс]: отчет о НИР (промежут.) / БНТУ; рук. Е. Г. Пономаренко; исполн.: П. И. Климович, Я. В. Потачиц, А. Н. Мешкова. – Минск, 2023. – 57 с. – Библиогр.: с. 54–57. – № ГР 20211673.

3. Романова, Л. Д. Интегральные преобразования / Л. Д. Романова, Т. А. Шаркунова, Т. В. Елисеева. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – 80 с.

4. Программный комплекс ЛИРА-САПР-2013 / под ред. А. С. Городецкого. – Киев ; М. : Электрон. изд., 2013. – 376 с.