

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛЯСКИ ПРОВОДОВ ВОЗДУШНЫХ ЛЭП

*Е.А. Дерюгина, А.П. Андрукевич*

Научный руководитель – *П.И. Климкович*

*Белорусский национальный технический университет*

Значительный ущерб от пляски проводов инициировал ее теоретические, экспериментальные и полевые исследования. Теоретическое изучение пляски существенно усложнено нелинейными зависимостями между аэродинамическими силами, движением и кручением проводов многопролетных участков воздушных ЛЭП. В 1933 году Ден-Гартог первым представил математическое описание механизма и вывел условие пляски в виде неравенства, связывающего только аэродинамические характеристики асимметричного профиля,

$$\frac{\partial C_L}{\partial \theta_a} + C_D < 0,$$

где  $C_L$ ,  $C_D$  – аэродинамические коэффициенты;  $\theta_a$  – угол атаки.

Ден-Гартог рассматривал вертикальные колебания проводов без учета их закручивания и демпфирования, такие пляски проводов являются довольно редким событием. Более распространена пляска, при которой поступательные колебания проводов синхронизируются с крутильными колебаниями. Л.Д. Пустыльников и В.А. Шкапцов предложили подход к исследованию устойчивости колебаний проводов при условии минимума упрощающих предположений. Авторы выполнили оценку условий аэродинамической неустойчивости колебаний проводов для конкретных воздушных ЛЭП. Для практических целей представляет большой интерес расчет критических скоростей ветра, произведенный А.И. Полевым. Он дополнил условие Ден-Гартога составляющей, учитывающей крутильные колебания проводов.

Физическим основам пляски посвящены работы Л.В. Яковлева, С.С. Ржевского и др. Линейная теория колебаний проводов при пляске развита профессором В.И. Ванько. Им разработано математическое описание пляски как неустойчивости положений равновесия модели при отличных от нуля скоростях ветра. В.И. Ванько получено условие пляски по Ляпунову, обобщающее условие Ден-Гартога

$$C_L \left( \frac{\partial C_L}{\partial \theta_a} + C_D \right) + C_L \left( C_L - \frac{\partial C_D}{\partial \theta_a} \right) < 0.$$

Комплексный подход к исследованию пляски проводов используют японские исследователи. К. Гото и М. Ямаока. Их исследование производится методом конечных элементов с учетом влияния гасителей колебаний с упруговязкими элементами. Эффективность разработанного ими численного метода расчета доказана многочисленными примерами расчетов и их сравнением с опытными данными, а также результатами полевых наблюдений и подтверждается положительным опытом ограничения и подавления колебаний проводов.

Профессором Лильеном предложена сравнительно простая математическая модель пляски, использующая новую теорию эквивалентной крутильной жесткости расщепленной фазы, которая подтверждается литературными данными, экспериментальными и полномасштабными испытаниями в полевых условиях. К другим способам определения амплитуд пляски проводов относятся методы энергетического баланса и функционального анализа, которые не получили значительного распространения.

При исследовании эффективности устройств ограничения и подавления пляски используются численные методы. Однако по оценкам СИГРЭ, правильная интерпретация статистических данных наблюдений на действующих линиях представляется предпочтительным способом определения эффективности различных устройств гашения пляски.

Несмотря на выполненный большой комплекс исследований и положительный опыт применения различных типов гасителей по сведениям СИГРЭ, отсутствует общее решение проблемы создания единого метода для предотвращения пляски проводов. Поэтому в этой области требуются как теоретические, так и практические работы по применению устройств подавления пляски проводов воздушных ЛЭП.