

# Ветровой резонанс в ОРУ с жесткой ошиновкой и некоторые методы его уменьшения.

Козинова М. А., Волкова Н. Н.,  
«НИУ «МЭИ»

В последние годы в открытых распределительных устройствах (ОРУ) напряжением 110-500 кВ всё шире используется жёсткая трубчатая ошиновка. Внедрение жёстких шин позволяет сократить площадь и снизить профиль ОРУ, уменьшить расход металлоконструкций, повысить производительность труда при монтажных работах.

Однако при эксплуатации и проектировании жёсткой ошиновки возникает ряд проблем. Одной из таких проблем является ветровой резонанс жёстких трубчатых шин.

Опыт эксплуатации, а также теоретические и экспериментальные исследования показывают, что жесткие круглые трубчатые шины ОРУ 110 кВ и выше подвержены поперечным колебаниям при действии относительно небольших (порядка нескольких метров в секунду) скоростей ветра.

Колебания шин обусловлены вихревым следом и получили название ветрового резонанса. Число Рейнольдса — безразмерное соотношение, которое, как принято считать, определяет ламинарный или турбулентный режим течения жидкости или газа. Число Рейнольдса также считается критерием подобия потоков. При числах Рейнольдса  $Re$  больше 5 круглая цилиндрическая шина представляет собой плохо обтекаемое тело.

Число Рейнольдса определяется следующим соотношением:

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu}$$

где  $\rho$  — плотность среды,  $v$  — характерная скорость,  $l$  — характерный размер,  $\mu$  — динамическая вязкость среды.

За шиной образуются два вихря. При увеличении  $Re$  вихри вытягиваются по течению, а затем (при  $Re > 40$ ) периодически отрываются от шины, причем направление сбегających вихрей попеременно меняется. Возникает вихревая дорожка Кармана. Внешний вид дорожки Кармана при различных  $Re$  приведен на рис. 1.

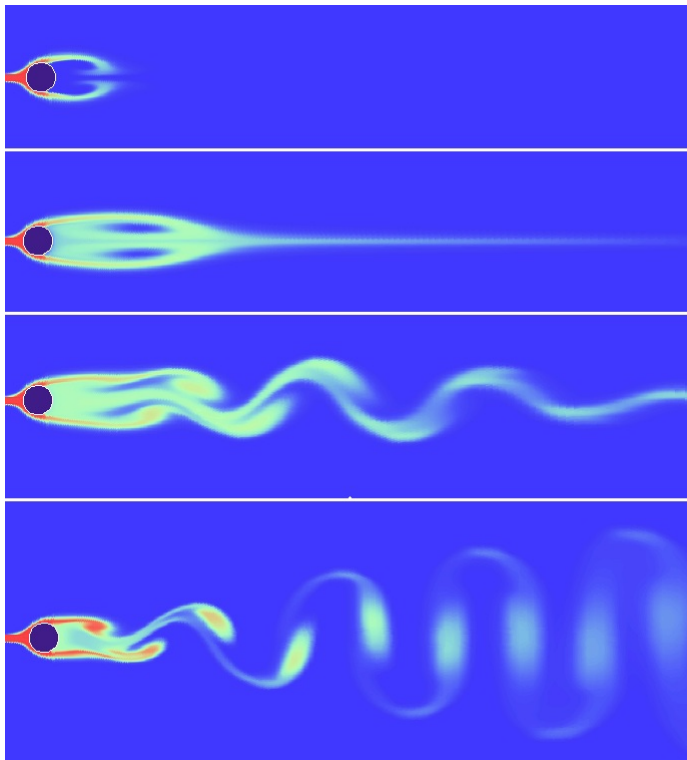


Рис. 1. Вихревая дорожка Кармана за круговым цилиндром при постепенном увеличении скорости потока

Частота срыва вихрей  $f_B$  характеризуется числом Струхаля (приведенной частотой). Число Струхаля — безразмерная величина, один из критериев подобия нестационарных течений жидкостей и газов, характеризующий постоянство протекания процессов во времени. Число Струхаля является функцией числа Рейнольдса  $Re$ , и в диапазоне  $200 < Re < 200\,000$  действует эмпирический закон постоянства числа Струхаля.

$$|Sh = \frac{f_B D}{V},$$

где  $V$  - скорость ветра, м/с;  $D$  - диаметр шины, м.

Если числа Рейнольдса лежат в интервале от  $10^3$  до  $2 \cdot 10^5$  (характерном для устойчивых резонансных колебаний ошиновки), число Струхаля становится практически постоянным и для неподвижного цилиндра

В результате срыва вихрей на шину действуют периодические силы  $q$  поперек воздушного потока. Если частота срыва вихрей совпадает с частотой собственных колебаний, может наступить ветровой резонанс (вихревое возбуждение). При вихревых возбуждениях шин скорость ветра лежит в пределах

$$k_{s1} V_s \leq V \leq k_{s2} V_s,$$

где  $V_s$  - струхалевская скорость (т.е. скорость потока, при которой частота срыва вихрей с поверхности неподвижного тела совпадает с частотой его собственных колебаний) при направлении ветра перпендикулярном оси шины.

Коэффициенты  $k_s$  определяют область скоростей при устойчивых колебаниях. Значения коэффициента  $k_{s1}$  составляют 0,7-1,0, а  $k_{s2}=1.0 \div 1.37$ .

Следует отметить, что устойчивым резонансным колебаниям предшествуют беспорядочные колебания с малой амплитудой. При резонансной скорости ветра амплитуда постепенно

---

возрастает. Синхронизация отрыва вихрей и стабилизация колебаний наблюдаются при амплитуде резонансных колебаний  $u_{доп}$  не менее 0,015-0,1 от диаметра шины  $D$ . Больше значение определено в лабораторных условиях при испытаниях круглых цилиндров, меньшая амплитуда синхронизации наблюдалась при вихревых возбуждениях шин диаметром 250 мм. Для шин диаметром до 120 мм относительная амплитуда  $u_{доп}$  составляет не менее 0,025-0,03D.

Ветровые вибрации шин нежелательны, так как они оказывают отрицательное психологическое воздействие на персонал ОРУ, а также могут приводить к ослаблению болтовых соединений и даже к усталостным разрушениям. Устойчивые резонансные колебания не возбуждаются, если наибольший прогиб  $u_{макс}$  не достигает допустимого (критического) значения  $U_{доп}$ , т.е.  $u_{макс} \leq U_{доп}$ .

Для борьбы с ветровым возбуждением применяются различные методы.

В ОРУ широко используют шинодержатели специальной конструкции и демпферы, обеспечивающие рост диссипативных сил (рассеяния энергии при колебаниях), иногда грузы для увеличения массы шины.

Традиционно в качестве демпфирующего устройства используются неизолированные провода для воздушных линий электропередач марок А, АС.

Демпфер закладывается внутрь трубы шины. Выбирается определенный тип троса, исходя из его погонной массы. Далее выбирается наиболее оптимальная длина троса, количество тросов заложенных в шине, по влиянию на декремент затухания и статическому прогибу шины. Один конец троса закрепляется в крышке, которая закрывает торец шины.

В качестве демпфирующего устройства используется алюминиевая труба меньшего диаметра, чем внутренний диаметр шины. Длина трубы, её погонная масса, и диаметр выбирается аналогично демпферу типа трос. В случае, если труба начинает входить в резонансные колебания с основной шиной, необходимо применять демпфирующие резиновые прокладки, и сместить трубу в другое положение относительно оси шины.

Демпфер типа стержень, представляет собой стальные стержни диаметром 25 мм, и длиной от 6 до 17 метров. Стержни устанавливаются внутрь трубы, и комбинируя их количество, и длину определяется наиболее оптимальная конфигурация, по статическому прогибу и влиянию на логарифмический декремент затухания.

К недостаткам данного демпфера следует отнести нестойкость к коррозии, а следовательно, химическое взаимодействие с алюминиевыми трубами. Так же демпфер проблематично транспортировать, и монтировать. При монтаже необходимо подъемное устройство.

Экспериментально-аналитические исследования показали, что основным элементом, который оказывает сильное влияние на ветровую стойкость жёсткой ошиновки, являются демпфирующее устройство.

#### Список литературы

1. Е.П. Кудрявцев, А.П. Долин Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств // М. Энергия 1981