

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ МНОГОЧАСТОТНЫХ ГАСИТЕЛЕЙ ВИБРАЦИИ

В.В. Дремов, директор, ООО «Сикам Украина»,
И.В. Блинов, канд. техн. наук, ИЭД НАН Украины

Известно, что вибрации проводов и тросов воздушных линий электропередачи (ВЛ) приводят к циклическим механическим напряжениям провода вследствие его периодических перегибов, что ведет к усталости материала провода и, со временем, к полному его разрушению. Наиболее частыми повреждениями при вибрации является разрушение провода, происходящее в местах его закрепления в зажимах, а также повреждения элементов подвески и деталей арматуры [1, 2]. Следует отметить, что вибрация провода возникает в результате совпадения частоты аэродинамических импульсов (возникающих под воздействием ветра) с одной из собственных частот упругой системы, которую представляет собой натянутый в полете провод. Аэродинамические импульсы приводят к постепенному нарастанию амплитуды колебаний. Развитие колебаний и рост их интенсивности продолжается до тех пор, пока не наступает состояние баланса между энергией ветра, воспринимаемой в виде аэродинамических импульсов, и потерями на рассеивание энергии колеблющимся проводом [1, 2].

Основным способом защиты от вибрации ВЛ с одиночными проводами и тросами является применение гасителей Стокбриджа. С момента своего создания (1926 год) гасители вибрации Стокбриджа получили широкое развитие, неоднократно совершенствовались как их характеристики к гашению вибраций, так и механические свойства. На рис. 1 показаны некоторые наиболее известные модели гасителей вибрации [3].

Следует отметить, что наибольшее применение получили гасители типа Dogbone и 4R, разработанные практически в одно время. Это обусловлено их способностями к гашению вибраций в более широком диапазоне частот, чем у традиционных гасителей, а также простотой в производстве и надежностью в эксплуатации по сравнению с гасителями типа Varispond.

По сравнению с гасителями Dogbone, гасители 4R (разработанные компанией SALVI, сегодня предприятие, входящее в группу Sicame) имели четыре резонансные частоты и более широкий диапазон частот гашения вибраций в целом, а также, за счет применения шестиугольной головки зажима гасителя, позволили уменьшить коли-

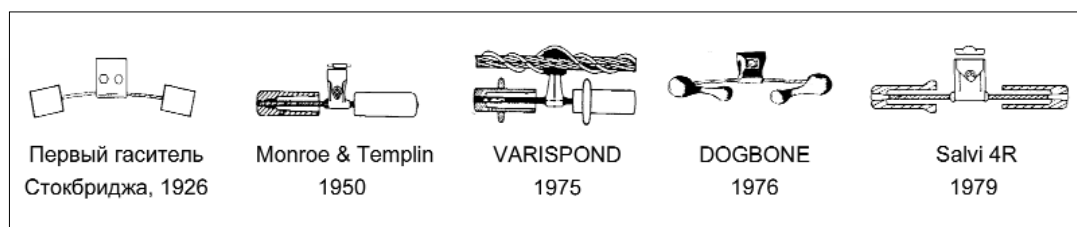


Рис. 1

чество типоразмеров гасителей с 19-ти до 7-ми. В дальнейшем, данная конструкция стала использоваться во многих странах мира, а гасители вибрации такого типа стали иметь общее название – многочастотные гасители вибрации.

Наиболее часто применяемые сегодня в Украине и странах СНГ типы гасителей вибрации производятся по устаревшим технологиям и являются малоэффективными при гашении вибраций проводов и тросов в некоторых случаях. Например, это проявляется при значительном натяжении проводов и тросов в длинных пролетах, а также в случаях расположения ВЛ на большой высоте над уровнем моря, где неоднократно возникают последствия сильных усталостных разрушений, а также обрывов проводов и тросов [1].

Кроме того, большинство из используемых сегодня гасителей вибрации не соответствуют современным требованиям к их механическим характеристикам. Часто гасители вибрации подвержены различным механическим повреждениям (рис. 2): изломам несущего троса гасителя; отпаданию грузов; смещению гасителя вдоль проводов ВЛ, что в свою очередь, приводит к дополнительной нагрузке на провода и соответственно к быстрейшему усталостному их разрушению в местах закрепления в зажимах.

Отметим, что диапазон опасных частот для проводов и грозозащитных тросов составляет от 4 до 100 Гц (в некоторых случаях более 100 Гц), что обуславливает сложность разработки гасителей, обеспечивающих эффективное гашение вибраций в столь широком диапазоне частот при минимальном количестве типоразмеров [2]. Опыт применения гасителей различных типов показывает, что гасители с эксцентричными грузами, с разными плечами гибких элементов и масс грузов, имеют более равномерное распределение энергии рассеивания по всему диапазону частот, что, совместно с применением унифицированных головок зажимов, позволяет значительно снизить количество типоразмеров.

Рассмотрим особенности и требования к современным многочастотным гасителям вибрации на примере гасителей вибрации производства компании Dervaux [5] (группа Sicame). На рис. 3 показан внешний вид таких гасителей и их конструкция. Многочастотный гаситель вибрации конструктивно состоит из корпуса зажима (1),



Рис. 2

эксцентричных грузов разной массы (3, 4) и соответственно момента инерции, которые крепятся на гибком тросе, головки зажима (2), которая закрепляется при помощи шайбы (5), внешней пружинной шайбы (6) и болта (7). Приведенный тип гасителя вибрации имеет четыре резонансные частоты и широкий диапазон гашения вибраций в целом (от 4 до 110 Гц). На рис.4 приведен пример отклика многочастотного гасителя на различные частоты.

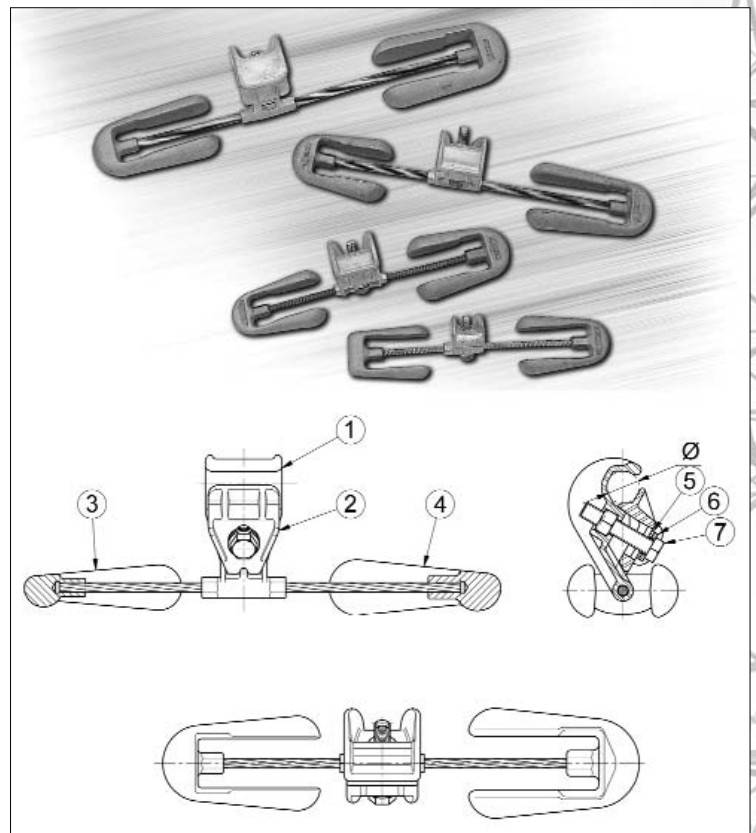


Рис. 3

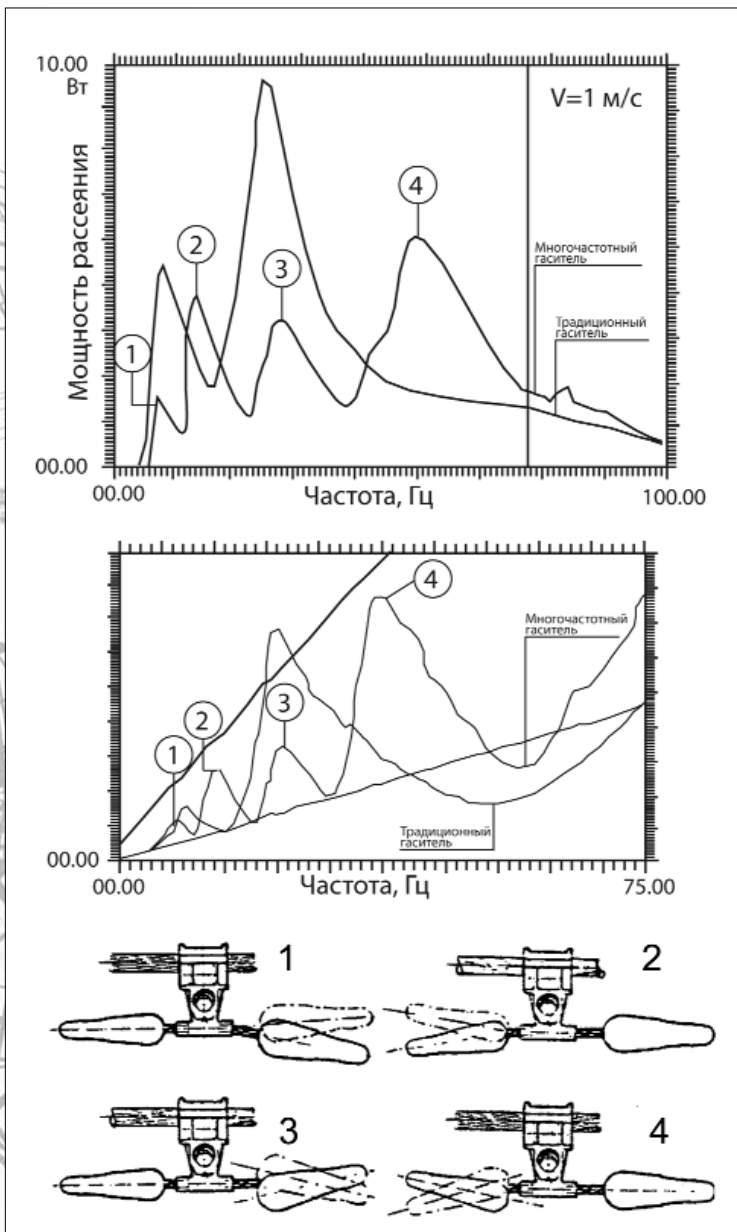


Рис. 4

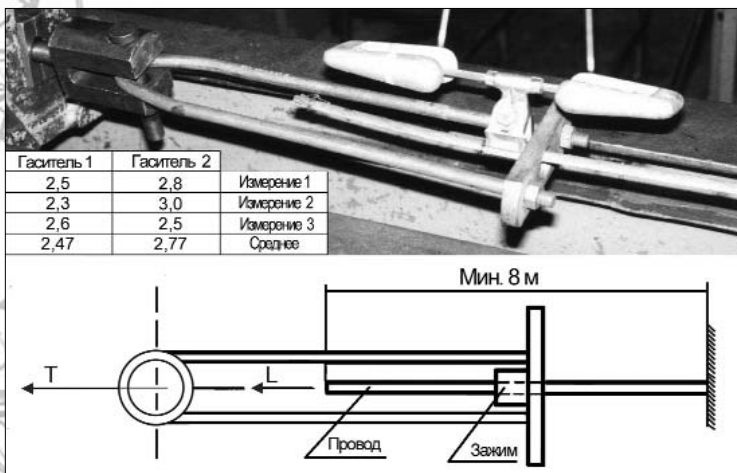


Рис. 5

стотных гасителей вибрации по двум основным характеристикам: динамической жёсткости (Н/м) и мощности рассеяния (Вт) в зависимости от частоты вибраций. Также рис. 4 показывает принцип действия многочастотного гасителя вибрации для каждой резонансной частоты.

Сегодня требования к гасителям вибрации определены в международном стандарте ИЕС 61897 (Воздушные линии – Требования и испытания гасителей ветровых вибраций Стокбриджа) [4]. В общем случае данным стандартом предусмотрены испытания как основных динамических характеристик гасителя вибраций, включая оценку эффективности гашения вибраций, так и испытания механических характеристик, к которым относятся испытания на проскальзывание провода в зажиме гасителя, на прочность заделки балластов и корпуса на несущем тросе гасителя, испытания на усталость гасителя вибраций. Рассмотрим подробнее некоторые из приведенных испытаний на примере гасителей вибрации Dervaux.

Испытания на проскальзывание провода в зажиме гасителя. Минимальная длина провода, на котором проводятся испытания, должна составлять 8 м, при этом провод натягивается с усилием 20 % от своей минимальной разрушающей нагрузки. Гаситель устанавливается согласно инструкции по установке от производителя. С помощью соответствующего устройства следует приложить коаксиальную нагрузку на провод в месте крепления зажима гасителя. Далее нагрузка постепенно увеличивается (не быстрее чем 100 Н/с), пока не достигнет величины 2,5 кН (или заданной минимальной нагрузки на проскальзывание). Установленная нагрузка поддерживается в течение 60 с, а далее постепенно увеличивается до момента проскальзывания (1 мм и более) провода в зажиме гасителя. Полученное значение записывается. Проскальзывание провода в зажиме больше 1 мм не должно начинаться до приложения силы в 2,5 кН и на протяжении 60 с после ее приложения. Наличие сплюсненной поверхности внешних жил провода является допустимым.

Испытание на затягивание болтов зажима гасителя (рис. 6 а). Если гаситель предназначен для нескольких типов проводов, то испытание должно проводиться для каждого типа провода. Болты должны быть затянуты с усилием на 10 %

большим указанного момента затяжки (для рассматриваемых гасителей – 40 Н·м). Резьба болтов должна оставаться в рабочем состоянии при любом количестве установок или снятий гасителя, при этом все элементы зажима гасителя, также провод не должны повреждаться. После проведения испытания необходимо увеличить момент затяжки в 2 раза по отношению к указанному номинальному моменту затяжки, при этом не должен возникать срыв резьбы или поломка других элементов зажима гасителя.

Испытание крепления балластов на несущем тросе гасителя (рис. 6 б). К установленному гасителю должно быть приложено усилие растяжения между двумя балластами, закрепленными на несущем тросе. Такое усилие постепенно увеличиваться (не быстрее 100 Н/с) до тех пор, пока не достигнет значения 5 кН. Установленная нагрузка поддерживается в течение 60 с, а далее постепенно увеличивается до момента пока один из двух балластов не начнет соскальзывать с несущего троса. При приложенном усилии до 5 кН включительно на протяжении 60 с ни один из балластов не должен соскальзывать с места его закрепления на несущем тросе более чем на 1 мм.

Оценка эффективности гасителя лабораторным методом. Данное испытание проводится для отрезка провода длиной не менее 30 м, который жестко закрепляется с обоих концов на испытательном стенде с заданным натяжением. Гаситель и виброустройство (генератор колебательных импульсов) устанавливаются согласно приведенной на рис. 7 схеме таким образом, чтобы обеспечить моделирование всех рабочих частот гасителя.

С помощью датчиков проводится измерение микродеформаций провода (напряжение на изгиб) в местах жесткого крепления провода в зажиме (не более чем на 2

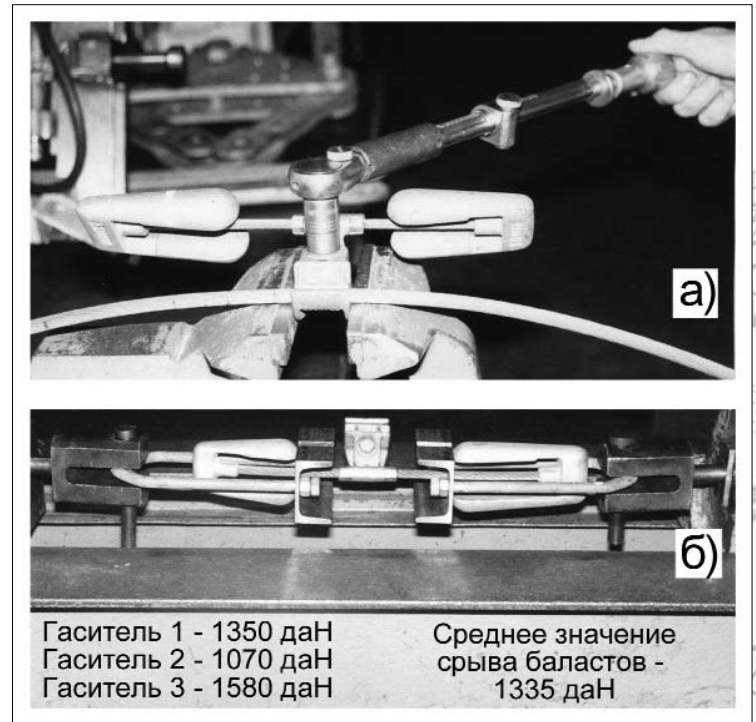


Рис. 6

мм от крайней точки крепления провода), а также непосредственно с обеих сторон зажима гасителя (5 мм от крайней точки крепления гасителя). В испытательном пролете необходимо достичь стойкого движения провода на тех частотах, при которых происходит резонанс в диапазоне от $0,18/d$ до $1,4/d$ (где d – диаметр провода в метрах). Испытание проводится для 20 резонансных частот, которые произвольно выбираются из указанного диапазона. На каждой резонансной частоте настройка колебаний производится до тех пор, пока в любой измеряемой точке не будут превышать 150 микродеформаций, а фазовый угол между силой и скоростью должен приближаться к нулю. При каждой резонансной частоте регистрируются: частота f_j , деформации

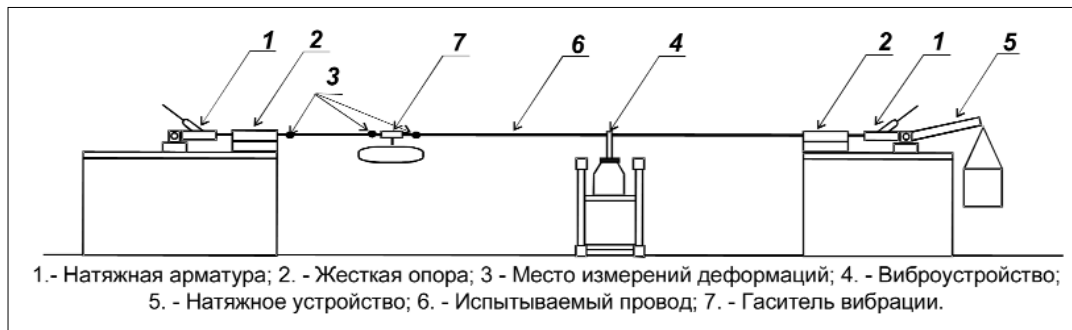


Рис. 7

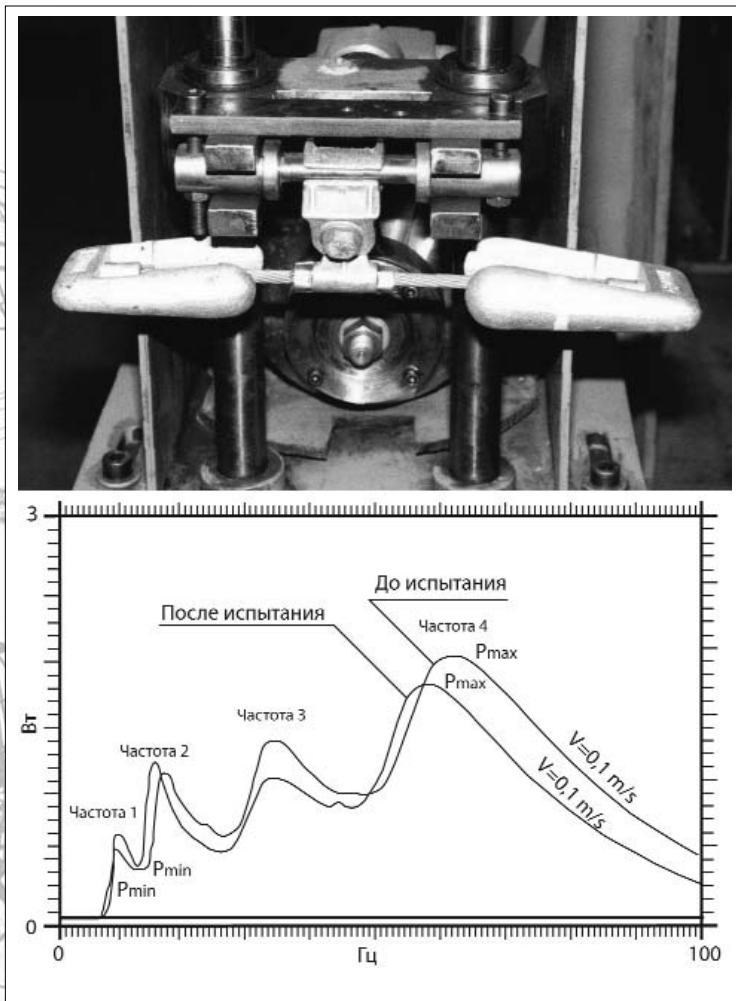


Рис. 8

изгиба провода, подводимая мощность от виброустройства P_j , амплитуда колебаний провода Y_j .

Подводимая мощность может определяться из выражения $P_j = 0,5F \cdot V \cdot \cos\theta$, где F (пиковое значение) является силой возбуждения P_j , V (пиковое значение) – скорость движения провода в точке приложения силы, а θ – фазовый угол между F и V .

Для каждой частоты испытания входная мощность P_j должна превышать ожидаемую величину энергии ветра P_{wj} , которая может быть рассчитана согласно выражению:

$$P_{wj} = L \cdot d^4 \cdot f_j^3 \cdot F_n(y_j/d),$$

где L – длина максимального защищаемого пролета провода, м; d – диаметр провода (м); f_j – частота (Гц); y_j – амплитуда колебаний провода; $F_n(y_j/d)$ – функция входной энергии ветра.

Также следует отметить, что суммарная энергия рассеивания, измеренная в ходе

испытания, равна сумме энергии рассеивания гасителя, энергии рассеиваемой при затухании колебаний провода и энергии рассеивания в конке конце участка испытываемого отрезка провода. В процессе эксплуатации длина пролета обычно намного больше, чем при испытаниях, поэтому энергия рассеивания, измеренная во время испытаний, может быть меньше чем в реальных условиях эксплуатации при той же амплитуде вибраций. Для высоких частот самозатухающие колебания провода в процессе эксплуатации могут иметь большое значение при поглощении энергии вибрации. Поэтому, измеренные значения энергии рассеивания, если это согласовано между заказчиком и производителем, должны быть скомпенсированные путем добавления соответствующей величины самозатухания провода к входной величине энергии P_j для учета разности длин провода в реальных условиях эксплуатации и в испытательной установке. Коррекция для провода энергия рассеивания должны быть оценены согласно, например, стандарта IEEE 563 [6].

Кроме описанного выше лабораторного метода, также могут применяться методы производственных испытаний. Производственные испытания должны проводиться, как минимум, на двух пролетах разной длины с одинаковым проводом. При этом заказчик должен уточнить длительность испытаний, проводимые измерения, устройства и датчики, которые будут использоваться, а также способ обработки экспериментальных данных. Критерии соответствия результатов испытания должны быть согласованы между заказчиком и производителем согласно, например, требований CIGRE или IEEE [6, 7].

Оценка эффективности гасителя может быть определена также и при помощи компьютерного математического моделирования. При этом производитель должен предоставить достаточные доказательства того, что используемый аналитический метод, подкреплён достоверными данными лабораторных и производственных испытаний. В этом случае заказчик предоставляет следующую информацию: рассматриваемые длины пролетов ВЛ; характеристики провода; натяжение провода в пролетах; характеристику самопоглощения энергии вибраций проводом; тип зажимов; описание местности; ежегодное распределение средней скорости ветра (среднее значение за 10 минут); характе-

ристики установленных дополнительных устройств (например, сигнальных ламп, маркеров линий), а также их местонахождение в пролете.

Испытания на усталость гасителя вибраций включают два альтернативных метода. Первый метод требует того, чтобы гаситель выдерживал 10^8 циклов колебаний в диапазоне от $0,18/d$ до $1,4/d$ (где d – диаметр провода) с частотой не более 20 колебаний в минуту для логарифмических колебаний и 0,5 Гц/с для линейных колебаний. Фиксации колебаний выполняется со скоростью 0,1 м/с (один пик).

Второй метод предусматривает возбуждение и испытание 107 циклами колебаний на резонансной частоте гасителя. Испытательная частота должна поддерживаться на постоянном уровне с точностью $\pm 0,5$ Гц для резонансных частот гасителя (которые могут изменяться в ходе испытаний). Амплитуда колебаний (один пик) должна составлять 0,5 мм. Для этого испытания важное значение имеет долговременная колебательная нагрузка в точке резонанса. При проведении таких испытаний каждый гаситель должен быть закреплен на генераторе колебательных импульсов переменной частоты и амплитуды (виброустройстве). Модификация второго типа испытаний также приведена в немецком стандарте DIN VDE 0212. Отличием от IEC 61897 является то, что частота (F) в процессе испытаний меняется от 15 до 100 Гц согласно выражению: $F = 185 V/d$ (d – диаметр провода), где скорость ветра V меняется от 1 до 6 м/с.

На рис. 8 показан испытательный стенд и зависимость изменения частоты и энергии рассеивания рассматриваемых гасителей после проведения описанных испытаний на усталость.

Считается, что гасители прошли испытания в том случае, если: соответствующие резонансные частоты гасителя до и после испытаний не отличаются более чем $\pm 20\%$; мощность рассеивания до и после испытания на отдельных резонансных частотах не отличаются более чем на $\pm 20\%$; все жилы несущего троса гасителя целы; гаситель выдерживает испыта-

ния на крепление балластов на несущем тросе и крепления зажима к несущему тросу; момент затяжки болтов не менее 50 % от начального установленного значения.

Кроме описанных испытаний стандартом IEC 61897 предусмотрены испытания на коррозионную стойкость; на уровень промышленных радиопомех согласно IEC 437, испытания на стойкость к климатическим внешним воздействиям.

Таким образом, применение многочастотных гасителей вибрации, обладающих рассмотренными динамическими характеристиками, а также отвечающих современным требованиям к механическим характеристикам позволяет повысить износоустойчивость проводов и тросов ВЛ, элементов подвески и арматуры, повысить надежность функционирования ВЛ в целом. электроснабжения.

Литература

1. РД 34.20.182-90. Методические указания по типовой защите от вибрации и субколебаний проводов и грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. Утв. Главтеупр. Минэнерго СССР 06.12.90 г. – М.: СПО «Союзтехэнерго», 1990.
2. СОУ 45.2-00100227-24:2010. Захист проводів і тросів повітряних ліній електропередавання від вітряних коливань (вібрації, галоупування, субколивань). Методичні вказівки. – К.: КВІЦ. – 2010.
3. Dulhunty P.W. / Vibration dampers – an evolution in Australia/ Dulhunty Industries Pty Ltd – 2004. - P.12
4. IEC 61897. Overhead lines – Requirements and tests for Stockbridge type aeolian vibration dampers. – 1998. – P. 48.
5. Test report on «STJB» AND «STJC» Stockbridge dampers. TR 93054// DERVAUX S.A. – 1993. – P. 30.
6. IEEE Std 664:1993, IEEE Guide for Laboratory Measurement of the Power Dissipation Characteristics of Aeolian Vibration Dampers for Single Conductors;
7. CIGRE SC22 WG11-TF2, Guide to vibration measurements on overhead lines; Electra 163, Dec 1995.