

Результаты экспериментальной проверки эффективности работы гасителя вибрации ГПГ-1,6-11-450 на проводе АС 150/24

ТРОФИМОВ С.В.

Представлены результаты экспериментальной проверки эффективности работы гасителя вибрации ГПГ-1,6-11-450 на проводе АС 150/24, позволяющие определить границы диапазона частот колебаний провода, в котором гаситель вибрации защищает провод от усталостных повреждений. Методика испытаний соответствует рекомендациям стандарта МЭК по испытаниям гасителей вибрации № 61897. Полученные результаты уточняют диапазон частот, в котором гаситель вибрации защищает провод от усталостных повреждений.

Ключевые слова: *провода, вибрация, гаситель вибрации, эффективность работы гасителя*

Практически все воздушные линии электропередачи (ВЛ) в той или иной степени подвержены вибрации проводов, вызываемой действием ветра. Следствием этого могут стать усталостные повреждения проволок как наружных, так и внутренних повивов проводов. Наиболее вероятными местами расположения зон опасных усталостных повреждений являются места входа проводов в поддерживающие зажимы, в зажимы крепления на проводах гасителей вибрации и пляски, а также в соединители различных типов [1–3].

Для защиты провода от усталостных повреждений, возникающих в местах его выхода из поддерживающих зажимов, в соответствии с ПУЭ-7 (раздел 2, глава 2.5, п. 2.5.85) широко применяются гасители вибрации типа Стокбриджа [4].

Наличие широкого выбора типов гасителей вибрации (далее ГВ), каждый из которых имеет свои особенности, ставит перед проектировщиками воздушных линий электропередачи (ВЛ) и службами эксплуатации ВЛ проблему выбора наиболее эффективного ГВ для защиты от вибрации проводов этой ВЛ.

В ПУЭ-7 вибрация проводов (тросов) определяется как «периодические колебания провода (троса) в пролете с частотой от 3 до 150 Гц, происходящие в вертикальной плоскости при ветре и образующие стоячие волны с размахом (двойной амплитудой), который может превышать диаметр провода (троса)» (раздел 2, глава 2.5, п. 2.5.3), но не дается рекомендаций, в каком частотном диапазоне необходимо защищать от вибрации конкрет-

Results from experiments on checking the performance of a GPG-1.6-11-450 vibration suppressor installed on an AS 150/24 wire are presented. The use of the obtained results makes it possible to determine the band of wire vibration frequencies in which the vibration suppressor protects the wire from fatigue damage. The test procedure is in conformity with the recommendations of the IEC 61897 standard on testing vibration suppressors. The obtained results give a more accurate assessment of the frequency band in which the vibration suppressor protects the wire from fatigue damage.

Key words: *wires, vibration suppressor performance efficiency*

ный провод и как выбрать для него оптимальный по эффективности работы на проводе гаситель вибрации.

Подробный алгоритм выбора оптимального ГВ для провода и места размещения ГВ на проводе в соответствии с типом местности, длиной пролета, маркой провода, конструкцией фазы и тяжестью в проводе подробно изложен в [5]. Однако за 20 лет, прошедших с момента вступления в силу РД 34.20.189–90, а также с учетом развития исследований по вибрации проводов в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» появилась необходимость уточнить некоторые положения этого РД.

Международный стандарт [6] рекомендует проводить определенный ряд испытаний для качественной проверки готовности ГВ к надежной работе на проводе ВЛ, в том числе испытания по проверке частотно-энергетических характеристик ГВ и оценки эффективности работы ГВ на проводе.

Далее рассматривается возможность практического использования выводов, сделанных на основании результатов расчетов и экспериментов по определению эффективности работы ГВ ГПГ-1,6-450, выполненных на образце провода АС 150/24 длиной 35,215 м на опытном пролете механического стенда ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС», для определения параметров оптимального ГВ для этого провода.

Испытания по оценке эффективности работы гасителя проводились на установке для испытаний по оценке эффективности работы гасителей в ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» (рис. 1).

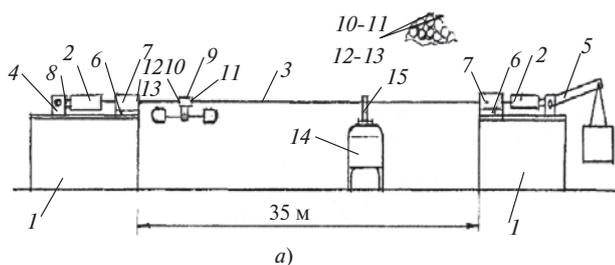


Рис. 1. Схема (а), общий вид (б) опытного пролета установки для оценки эффективности работы ГВ на проводе и общий вид (в) испытываемого ГВ: 1 – опоры пролета; 2 – натяжные зажимы; 3 – образец провода; 4 – неподвижная опора; 5 – подвижная опора; 6 – специальные приспособления для закрепления имитаторов поддерживающих зажимов; 7 – имитаторы поддерживающих зажимов; 8 – датчик усилий в проводе; 9 – гаситель вибрации; 10–13 – группы тензодатчиков; 14 – вибрационный электродинамический стенд ВСВ-202-150; 15 – специальный толкатель для возбуждения провода

В установку входят:

опытный пролет длиной 35,215 м;

провод АС 150/24, для защиты которого предназначен испытываемый ГВ ГПГ-1,6-11-450;

испытательный вибрационный электродинамический стенд ВСВ-202-150;

измерительно-регистрирующий комплекс, включающий:

тензодатчики деформаций провода;

датчики силы и перемещения;

датчик максимальной амплитуды колебаний (размаха колебаний) провода в пучности второй или третьей полуволн колебаний;

датчик максимальной амплитуды колебаний (размаха колебаний) и максимальной скорости перемещения зажима гасителя вибрации;

датчик тяжения в проводе;

компьютер.

Оснащение установки пьезо-, тензо- и лазерными датчиками, а также разработка программы обработки поступающей от датчиков информации были выполнены ООО «СЕРВЕР +».

Основные параметры установки и элементы измерительно-регистрирующего комплекса установки для испытаний по оценке эффективности работы ГВ на проводе полностью соответствуют рекомендациям [6].

Провод, смонтированный в опытном пролете, при испытаниях возбуждался вибратором электродинамического стенда до достижения устойчивого движения провода на каждой из 10–15 резонансных (собственных) частот провода или системы «провод–ГВ», т.е. собственным формам системы. Формы собственных колебаний системы «провод АС 150/24 с ГВ ГПГ-1,6-11-450» очень похожи на формы собственных колебаний системы «провод АС 120/19 с ГВ ГПГ-1,6-11-450» [7].

При испытаниях максимальные скорости провода в пучностях второй или третьей полуволн колебаний провода V_{\max} равнялись 100 мм/с.

Значение тяжения в проводе составляло 20% разрывного усилия провода или 10450 Н и поддерживалось постоянным на протяжении всего времени испытаний. ГВ на проводе располагался на расстоянии от имитатора поддерживающего зажима рекомендованном [5] и равном 0,8 м.

Для определения размера деформаций проволок верхнего повива провода, а следовательно определения значений напряжений в поверхностных слоях проволок верхнего повива, попарно были установлены тензодатчики:

первой группы на верхних проволоках (1.1 и 1.2) в 1-м сечении провода на расстоянии 10–15 мм от его выхода из имитатора поддерживающего зажима;

второй группы на верхних проволоках (2.1 и 2.2) во 2-м сечении провода на расстоянии 10–15 мм от его входа в зажим ГВ или на расстоянии 0,74–0,75 м от имитатора поддерживающего зажима;

третьей группы на верхних проволоках (3.1 и 3.2) в 3-м сечении провода на расстоянии 10–15 мм от его выхода из зажима ГВ или на расстоянии 0,85–0,86 м от имитатора поддерживающего зажима.

На каждой резонансной частоте регистрировались:

частота колебаний;

длина первой, предпоследней и последней полуволн вибрации опытного образца провода;

максимальные и минимальные напряжения в проволоках верхнего повива провода в его опасных сечениях (деформация изгиба);

максимальная амплитуда колебаний (размах колебаний) провода в пучности второй или третьей полуволны колебаний;

максимальная амплитуда колебаний (размах колебаний) и скорость перемещения зажима ГВ.

Перед испытаниями на эффективность работы ГВ были выполнены испытания провода без ГВ. Для этого были определены собственные частоты провода без ГВ и соответствующие им собственные формы. Соответствующие этим собственным частотам собственные формы настраивались в опытном пролете путем последовательного изменения частоты возбуждения вибратора до момента равенства длины последней и предпоследней полуволн собственных форм колебаний провода без ГВ.

В результате испытаний провода без ГВ были получены значения собственных частот и значения максимальных изгибных напряжений в опасных сечениях провода для ряда собственных форм. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Анализ результатов испытаний провода без ГВ подтверждает общепризнанный факт значительно превышения значений максимальных изгибных напряжений в проволоках верхнего повива провода на выходе из имитатора поддерживающего зажима (сечение 1) значений максимальных изгибных напряжений в пролете вблизи рекомендуемого места установки гасителя вибрации (сечения 2 и 3). При

этом напряжения в сечении 1 превышают в 6 раз изгибные напряжения в сечениях 2 и 3 на частотах порядка 50 Гц и в 20 раз на частотах 9–20 Гц.

Предварительно перед испытаниями ГВ на эффективность работы на проводе были также рассчитаны значения собственных частот провода с ГВ для 10–15 характерных собственных форм колебаний провода с ГВ и без него. Соответствующие этим собственным частотам собственные формы настраивались в опытном пролете последовательным изменением частоты возбуждения вибратора до момента равенства длины последней и предпоследней полуволн колебаний провода с гасителем вибрации.

После достижения равенства длины последней и предпоследней полуволн колебаний регистрировались все перечисленные определяемые параметры. В результате испытаний были получены значения собственных частот, длина первой, второй и последней полуволн собственных форм колебаний провода АС 150/24 с ГВ. Результаты эксперимента и расчета приведены в табл. 2 (данные в числителе – расчет, в знаменателе – эксперимент).

Анализ результатов измерений длины первой и последующих полуволн собственных форм колебаний провода АС 150/24 с ГВ ГПГ 1,6-11-450 дает основание утверждать, что присутствие ГВ на проводе существенно уменьшает форму и длину первых полуволн собственных форм. При этом узел колебаний первой полуволны уже при частотах порядка 30 Гц перемещается в место расположения зажима ГВ (см. табл. 2). Необходимо также отметить высокую степень совпадения расчетной длины полуволн собственных форм и результатов эксперимента, что подтверждает применимость алгоритма расчета по методике SVT «провод – гаситель вибрации» [3].

Сравнение значений напряжений в опасных точках провода, полученных при испытаниях на разных частотах, позволяет сделать вывод о том, что значения изгибных напряжения в сечении 1 в области частот от 5,6 до 40 Гц существенно пре-

Таблица 1

Номер п/п	Частота, Гц	Максимальные значения изгибных напряжения, Н/мм ²			
		в сечении 1	в сечении 2	в сечении 3	в опасных сечениях провода без ГВ
1	9,44	24,86	0,18	0,17	24,86
2	11,28	23,86	0,31	0,30	23,86
3	20,78	25,35	1,33	1,18	25,35
4	28,34	28,98	1,44	1,40	28,98
5	38,11	25,96	1,79	1,97	25,96
6	48,17	20,26	3,38	3,19	20,26

Таблица 2

Номер п/п	Частота, Гц	Число полувольт	Длина полувольт, м			Координата точки измерения амплитуды колебаний провода, м
			первой	второй	последней	
1	5,52/5,59	3	11,28/11,35	11,95/11,93	11,95/11,35	17,29/17,30
2	6,82/6,90	4	6,41/8,40	9,60/8,95	9,60/8,95	11,21/11,21
3	7,75/7,61	5	1,92/1,75	8,32/8,40	8,32/8,40	14,41/14,30
4	8,40/8,32	5	4,50/1,30	7,68/8,47	7,68/8,47	7,76/7,75
5	9,40/9,56	5	7,74/7,40	6,86/6,87	6,86/6,87	11,16/11,16
6	11,45/11,50	6	6,39/6,25	5,77/5,77	5,77/5,77	9,25/9,25
7	16,98/17,01	9	4,08/4,08	3,89/3,90	3,89/3,90	9,92/9,92
8	20,48/20,59	11	2,96/3,00	3,22/3,22	3,22/3,22	7,86/11,02
9	22,15/22,51	12	2,39/2,65	2,98/3,02	2,98/3,02	9,85/9,85
10	23,80/24,42	13	1,97/2,20	2,78/2,80	2,78/2,80	9,85/6,06
11	27,30/27,97	15	1,36/1,45	2,42/2,40	2,42/2,40	9,83/7,53
12	30,99/31,82	17	1,11/1,25	2,13/2,15	2,13/2,15	8,64/6,55
13	32,87/33,72	18	1,04/1,20	2,01/2,02	2,01/2,02	-/8,32
14	34,75/35,54	19	0,98/1,02	1,90/1,90	1,90/1,90	-/7,75
15	36,64/37,58	20	0,94/1,00	1,80/1,80	1,80/1,80	-/12,65
16	38,53/39,50	21	0,91/0,98	1,72/1,71	1,72/1,71	-/12,05
17	40,40/41,34	22	0,87/0,88	1,64/1,63	1,64/1,63	-/6,58
18	41,13/41,68	23	0,81/0,99	1,57/1,63	1,57/1,63	-/13,13
19	42,41/43,36	24	0,80/0,95	0,26/-	1,55/1,56	-/7,93
20	44,28/45,22	24	0,87/0,90	1,49/1,53	1,49/1,53	-/7,60
21	46,18/47,72	25	0,84/0,90	1,43/1,43	1,43/1,43	-/7,33
22	48,09/49,71	25	0,83/0,85	1,38/1,37	1,38/1,37	-/12,52
23	49,99/51,72	26	0,82/0,85	1,32/1,33	1,32/1,34	-/12,10

восходят изгибные напряжения в сечениях 2 и 3. Однако при частотах более 51 Гц значения изгибных напряжений в сечении 3 превышают напряжения в сечении 1 (см. рис. 2). Это означает, что при этой частоте самым опасным сечением становится сечение 3 (выход провода из зажима гасителя вибрации).

Главным результатом проведенных испытаний на эффективность работы ГВ ГПГ-1,6-11-450 на проводе АС 150/24 является возможность сравнения значений максимальных изгибных напряжений в самых опасных сечениях провода с гасителем вибрации и без него (см. рис. 3).

На основе этих графиков можно сделать вывод о том, как и в каких диапазонах установленный на проводе ГВ защищает провод от вибрации. Именно на основании подобных двух кривых и должны быть даны рекомендации для применения каждого из существующих в настоящее время типов ГВ.

Анализ максимальных изгибных напряжений дает основание полагать, что в области существования пары первых собственных частот ГВ (7–9 Гц) гаситель вибрации практически переламывает провод, при этом максимальные изгибные напряжения превосходят аналогичные напряжения в проводе без гасителя более чем в 3 раза.

В области существования пары вторых собственных частот также наблюдается некоторое ухудшение эффективности работы ГВ, однако при этих частотах максимальные значения изгибных напряжений все-таки меньше чем в проводе без ГВ.

В зоне частот 22–25 Гц максимальные значения изгибных напряжений в проводе с ГВ также не намного (на 10%) превышают значения изгибных напряжений в проводе без ГВ.

В диапазонах частот от 9,60 до 17 Гц и от 30 до 40 Гц рассматриваемый ГВ защищает провод АС 150/24 от вибрации. При этом максимальные изгибные напряжения снижаются почти в 2 раза. В

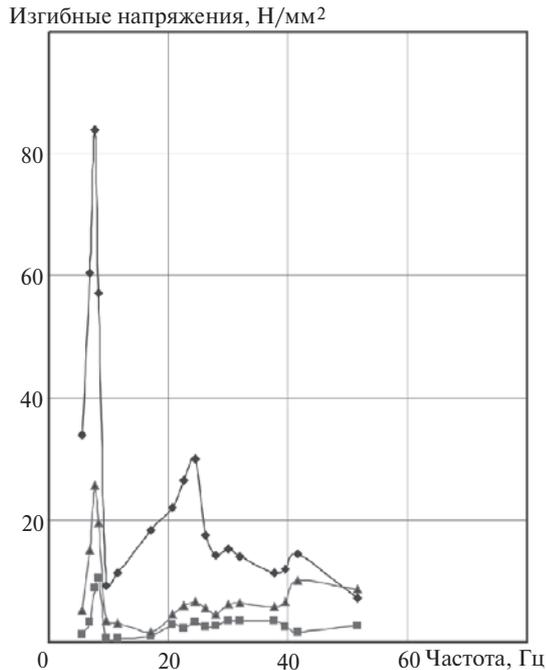


Рис. 2. Максимальные изгибные напряжения в проволоках верхнего повива провода АС 150/24 с ГВ ГППГ-1,6-11-450: \blacklozenge — в сечении провода на выходе из имитатора поддерживающего зажима; \blacksquare — на месте входа в зажим гасителя вибрации; \blacktriangle — на месте выхода из зажима гасителя

других диапазонах частот снижение изгибных напряжений составляет 0–30 % значений изгибных напряжений в проводе без ГВ.

Таким образом, на основании выполненных исследований можно отметить следующее:

ГВ хорошо защищает провод в диапазонах частот от 9,60 до 17 Гц и от 30 до 40 Гц;

в диапазоне частот 40–50 Гц снижение изгибных напряжений составляет 0–30% значений изгибных напряжений в проводе без ГВ;

не защищает в области частот 22–25 Гц;

переламинает провод в области частот 7–9 Гц (т.е. в этом случае необходимо избегать его применения).

В качестве возможного дальнейшего совершенствования ГВ для провода АС 150/24 необходимо снизить первую собственную частоту ГВ до 4–5 Гц и исключить переламывание провода в области частот 7–9 Гц.

Необходимо также отметить, что в таком или подобном виде должны быть представлены рекомендации по применению любого ГВ, применяемого на ВЛ ФСК ЕЭС. Испытания по проверке

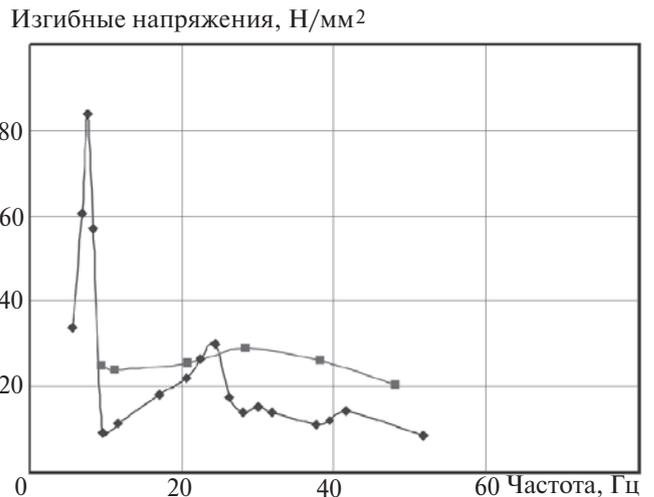


Рис. 3. Максимальные изгибные напряжения в проволоках верхнего повива в самых опасных сечениях провода АС 150/24 с ГВ ГППГ-1,6-11-450 (\blacklozenge) и без него (\blacksquare)

эффективности работы гасителя вибрации на проводе должны стать основой при выдаче рекомендаций по применению гасителей для защиты от вибрации проводов на ВЛ ОАО «ФСК ЕЭС».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трофимов С.В. Защита проводов воздушных линий электропередачи на входе в соединитель. — Электрические станции, 2003, № 11.
2. Трофимов С.В. Оценка эффективности протектора, устанавливаемого для защиты провода на выходе из поддерживающего зажима. — Электрические станции, 2004, № 2.
3. Трофимов С.В. Оценка эффективности работы гасителя вибрации на проводе. — Электрические станции, 2004, № 5.
4. Правила устройства электроустановок (ПУЭ), изд. 7-е. — М., НТЦ «ЭНАС», 2003.
5. РД 34.20.189-90. Методические указания по типовой защите от вибрации и субколебаний проводов и грозозащитных тросов воздушных линий электропередачи напряжением 35–750 кВ. СПО ОРГРЭС, М., 1991.
6. Стандарт МЭК 61897:1998. Воздушные линии. Требования к гасителям эоловой вибрации Стокбриджа и их испытания.
7. Трофимов С.В. Параметры собственных форм колебаний провода АС 120/19 с гасителем вибрации ГППГ-1,6-11-450. — Электричество. 2010, № 3.

[13.07.13]

Автор: Трофимов Сергей Викторович окончил энергомашиностроительный факультет Московского энергетического института в 1970 г. В 1980 г. защитил кандидатскую диссертацию по динамике металлоконструкций роторного экскаватора. Старший научный сотрудник Центра электротехнического оборудования ОАО «НТЦ электроэнергетики».