

УДК 621.315.17

## ОЦЕНКА ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРОВОДА ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Николаев А.В., аспирант ЭТА-241

Научный руководитель Шаулема Н.М., к.т.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В процессе длительной эксплуатации проводов воздушной линии электропередачи, вследствие негативного влияния на них изгибающих механических нагрузок, атмосферных загрязнений и климатических факторов, происходит ухудшение их механических характеристик. Снижение механической прочности создает риски обрыва проводов с возникновением аварийных ситуаций в энергосистеме и нарушением электроснабжения потребителей.

Оценка текущего технического состояния провода [1, 2] должна заключаться в проверке соответствия его текущих технических характеристик и эксплуатационных свойств требованиям, определенным в проектной документации на сооружение (реконструкцию) воздушной линии электропередачи

ГОСТ 839-59 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия» [3]. Наибольшее количество эксплуатируемых в настоящее время воздушных линий электропередачи оснащены неизолированными проводами из стали и алюминия марки АС, изготовленными в соответствии с требованиями ГОСТ 839-59.

Цель испытаний и измерений: определение прочностных характеристик (разрывного усилия) и допустимых токовых нагрузок проводов воздушных линий электропередачи, находящихся в длительной эксплуатации, для последующего принятия решений о допустимости дальнейшей эксплуатации.

Испытания по определению разрывного усилия провода действующей воздушной линии электропередачи проводятся в лабораторных условиях с использованием разрывной испытательной машины на образцах провода, изъятых с обследуемой воздушной линии электропередачи.

Длина образца провода для испытаний должна быть не менее 300 мм.

При испытаниях исследуемый образец провода должен разбираться на отдельные проволоки по повивам. Для проводов и сердечников, состоящих из семи проволок и меньше, проверяют все образцы, если проволок больше семи, то проверяют пятьдесят процентов проволок.

Рабочая длина образца проволоки для испытаний должна быть не менее чем на 50 мм больше расчетной длины.

Длину провода измеряют с точностью до одного миллиметра, а рассчитывают с точностью до одного процента и ограничивают по длине образца кернами.

Расчетное разрывное усилие (РРУ) – это расчётная величина, которая показывает, при каких минимальных нагрузках стальной трос начинает разрушаться.

РРУ для многопроволочных проводов из стали и алюминия любых маркировок вычисляют из фактических значений разрывного усилия отдельных алюминиевых проволок или проволок из алюминиевых сплавов и усилия при растяжении на 1% отдельных стальных проволок:

$$P = \sum_{i=1}^{n_{al}} P_{ali} + \sum_{i=1}^{n_{ct}} P_{cti},$$

где  $P_{ali}$  – разрывное усилие проволоки из алюминия или алюминиевых сплавов, (в  $H$ );

$P_{cti}$  – усилие при растяжении стальной проволоки на 1 %, (в  $H$ ).

Значение расчетного разрывного усилия провода из стали и алюминия, определяемое по разрывным усилиям проволок, изъятых из скрученного провода, должно быть не менее разрывного усилия, определенного проектом на линию электропередачи. Кроме того, для установления степени износа провода целесообразно выполнить оценку соответствия его фактических прочностных характеристик требованиям ГОСТ 839-59. Минимальные значения расчетного разрывного усилия, подтверждающие отсутствие износа провода и соответствие требованиям ГОСТ 839-59, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Минимальные значения расчетного разрывного усилия, подтверждающие отсутствие износа провода и соответствие требованиям ГОСТ 839-59

Номинальное сечение, $\text{мм}^2$ (алюминий/сталь)	Минимальное значение расчетного разрывного усилия провода, определяемое по разрывным усилиям проволок, (в $H$ ).	
	Для проводов, изготовленных в период до 31.12.1980	Для проводов, изготовленных в период с 01.01.1981 по н.в.
1	2	3
95/16	29672,47	31700,55
95/15	29830,85	-
95/141	162942,4	171736,25
120/19	37861,5	39444,95
120/27	45510,2	46991,75
150/19	41923,43	43991,65
150/24	47587,75	49665,05
150/34	56699,1	59510,85
185/24	53429,1	55171,25
185/29	56652,53	58952,25
185/43	71288,46	73878,65
185/128	164423,7	174625,2
205/27	58646,2	60553
240/32	69024,6	71297,5
240/39	74651,65	76850,25
240/56	91094,95	93340,35

## Окончание таблицы 1

1	2	3
300/39	83241,3	86045,3
300/48	92874,37	95591,85
300/66	113575,23	11644
300/67	-	119956,5
300/204	255248,47	270350,05
330/27	78601,77	-
330/30	-	84405,6
330/43	93889,85	98594,8
400/18	-	81320
400/22	83008,39	90359,25
400/51	109615,8	114456,95
400/64	119090,5	122723,85
400/93	156206,7	165029,25
450/56	120758,1	124801,5
500/26	-	106920,6
500/27	101072,73	106578,6
500/64	136279,1	140844,15
500/204	-	303628,55
500/336	420277,72	443316,55
550/71	152741,03	157855,8
600/72	165197	174643,25
650/79	178463,38	190428,45
700/86	193798	206886,25
750/93	210856,2	222727,5
800/105	234007,26	247069,35
1000/56	-	212844,65

Определение разрывного усилия отдельной проволоки из алюминия или алюминиевых сплавов выполняется согласно ГОСТ 10446-80 [4] и ГОСТ 1497-84 [5].

Для расчетов берется образец длиной 100 мм или 200 мм. Показание силоизмерительного устройства разрывной испытательной машины устанавливают на ноль. После установки нулевой точки не допускается во время испытания повторное обнуление силоизмерительного устройства.

Закрепление исследуемого образца проволоки в захватах испытательной машины должно быть выполнено таким образом, чтобы надежно удерживать образец в процессе испытаний и обеспечить приложение усилия вдоль оси проволоки, чтобы свести к минимуму ее изгиб. Для определения разрывного усилия исследуемый образец проволоки подвергают растяжению под действием плавно возрастающего усилия до разрушения. Скорость деформирования проволоки при испытании должна быть не более 0,5 начальной расчетной длины образца в минуту.

Наибольшее усилие, предшествующее разрушению проволоки при испытании, соответствует разрывному усилию проволоки ( $P_{al}$ ).

Для определения усилия при растяжении отдельной стальной проволоки на 1 % выполняют измерения измерительной линейкой и измерительной лупой на образце длиной 200 мм. Образец закрепляют в захватах разрывной

испытательной машины. Захваты должны обеспечивать отсутствие проскальзывания образца при испытании.

Показание силоизмерительного устройства разрывной испытательной машины устанавливают на ноль. К образцу должна быть приложена нагрузка, определенная на основании данных, приведенных в таблице 2. Эта нагрузка выдерживается до тех пор, пока на образце отмечается соответствующая расчетная длина.

Таблица 2 – Исходные данные для расчета начального усилия, прилагаемого к образцу

Номинальный диаметр проволоки, (в мм)	Первоначальное напряжение, (в Н/мм <sup>2</sup> )
1,5 – 2,3	98,07
2,4 – 3,05	196,13
3,2 – 4,5	294,2

Необходимо обеспечить приложение усилия вдоль оси образца, чтобы свести к минимуму его изгиб. Затем усилие должно увеличиваться до момента фиксации удлинения расчетной длины проволоки на 1 % и в этот момент разрывную испытательную машину останавливают и записывают величину усилия при растяжении отдельной стальной проволоки на 1 % ( $P_{ct}$ ).

Для исследования взяли два образца провода АСУ300 разрушенного в поддерживающем зажиме некоторой опоры (год ввода в эксплуатацию данного провода 1954 г). Образцы 1 и 2 представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Образцы провода АСУ300: а) до разрыва; б) после разрыва

Данные ГОСТ 839-59 [1] для провода марки АСУ300 фактические размеры исследуемого образца провода приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики исследуемого образца провода.

Размеры и расчетные параметры провода	Требования ГОСТ 839-59 для провода АСУ300	Фактические размеры исследуемого провода
Число и номинальные диаметры проволок, число повивов		
Стальной сердечник	19×2,2	19×2,2
Алюминиевая часть провода	30×3,55	30×3,55

В результате осмотра в зоне порыва: алюминиевые проволоки расплетены и изогнуты в разном направлении, концы проволок оплавлены; стальная проволока частично оплавлена, а часть порвалась с образованием шейки, что характерно для разрушения при растяжении (рисунок 1, б).

Определим РРУ провода по ГОСТ 839-59 согласно ГОСТ 10446-80, ГОСТ 1497-84, исходя из фактических значений разрывного усилия алюминиевых проволок и усилия при растяжении на 1 % стальной проволоки сердечника.

Испытание проведено на участке провода, не имеющем оплавлений алюминиевых проволок, результаты представлены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4. Расчёт стального сердечника

№ п/п	Диаметр проводо- лки, мм	Площадь се- чения прово- локи, $\text{мм}^2$	Разрывное уси- лие, кгс	Временное сопро- тивление разрыву, кгс/мм $^2$	Усилие при растяжении на 1% кгс	Напряжение при 1%-ном удлине- нии кгс/мм $^2$
1	2,2	3,79	5160	1360	2370	625
2	2,2	3,79	4820	1270	3200	845
3	2,2	3,79	5260	1390	2500	660
4	2,2	3,79	5080	1340	2670	705
5	2,2	3,79	4990	1320	2780	733
6	2,2	3,79	4890	1290	3100	818
7	2,2	3,79	5120	1350	3160	833
8	2,2	3,79	5040	1329	2980	786
9	2,2	3,79	4950	1310	3050	805
10	2,2	3,79	4920	1300	3040	802
11	2,2	3,79	4820	1290	2780	820
12	2,2	3,79	5260	1330	2970	790
13	2,2	3,79	4950	1360	3050	810
14	2,2	3,79	5040	1280	3010	820
15	2,2	3,79	4960	1290	2790	832
16	2,2	3,79	5260	1350	2610	790
17	2,2	3,79	4820	1270	2540	640
18	2,2	3,79	5080	1310	2450	730
19	2,2	3,79	4930	1340	3150	670
Среднее значение			5018	1320	2853	764
Требования ГОСТ 9850-61 для стальной оцинкованной проволоки марки МС Ø 2,2 мм				не менее 1176 Н/мм $^2$ (120 кгс/мм $^2$ )	-	-

Таблица 5. Расчет алюминиевой части провода

№ п/п	Диаметр прово- лки, мм	Площадь сечения проводки, $\text{мм}^2$	Разрывное усилие, кгс	Временное сопротивление разрыву, кгс/мм $^2$
1	2	3	4	5
1	3,55	9,89	139	14,05
2	3,55	9,89	145	14,66
3	3,55	9,89	142	14,35
4	3,55	9,89	141	14,25
5	3,55	9,89	142	14,35
6	3,55	9,89	140	14,15
7	3,55	9,89	145	14,66
8	3,55	9,89	137	13,85
9	3,55	9,89	144	14,56

## Окончание таблицы 5

1	2	3	4	5
10	3,55	9,89	145	14,66
11	3,55	9,89	142	14,35
12	3,55	9,89	138	13,95
13	3,55	9,89	140	14,15
14	3,55	9,89	141	14,25
15	3,55	9,89	142	14,35
16	3,55	9,89	145	14,53
17	3,55	9,89	139	14,32
18	3,55	9,89	140	14,23
19	3,55	9,89	141	14,38
20	3,55	9,89	142	14,47
21	3,55	9,89	142	14,35
22	3,55	9,89	140	14,72
23	3,55	9,89	141	14,27
24	3,55	9,89	139	13,97
25	3,55	9,89	145	14,87
26	3,55	9,89	142	14,15
27	3,55	9,89	144	14,35
28	3,55	9,89	146	14,68
29	3,55	9,89	138	14,52
30	3,55	9,89	145	14,12
Сумма		4252	Среднее значение = 14,35	

Расчетное разрывное усилие всех проволок в проводе:

$$РРУ = 4252 + 54200 = 58452 \text{ кгс} \approx 573218 \text{ Н.}$$

По результатам механических испытаний стальные проволоки сердечника провода АСУ300 удовлетворяют требованиям ГОСТ 9850-61 «Проволока стальная оцинкованная для сердечников проводов. Технические условия».

Исследуемый провод АСУ300 имеет конструкцию - алюминиевые проволоки  $30 \times 3,55$ , стальной сердечник  $19 \times 2,2$ , что соответствует требованиям ГОСТ 839-59 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия».

По результатам вычислений, так как исследуемый образец соответствует установленным требованиям означает, что допустимые токовые нагрузки могут применяться согласно правил устройства электроустановок (ПУЭ-6) при условии соблюдения вертикальных\горизонтальных расстояний.

## Список литературы:

1. Схиртладзе, А. Г. Метрология, стандартизация и технические измерения / А.Г. Схиртладзе, Я.М. Радкевич. - Старый Оскол: ТНТ, 2010 - 420 с.
2. Голубев, С.С. Стратегия обеспечения единства измерений в российской федерации до 2025 года ведет российскую метрологию по инновационному пути // Законодательная и прикладная метрология. - 2017. - № 4. - С. 5-8.

3. ГОСТ 839-59 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия».
4. ГОСТ 10446-80 «Проволока. Метод испытания на растяжение».
5. ГОСТ 1497-84 «Металлы. Методы испытаний на растяжение».