КОРРОЗИОННАЯ СТОЙКОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ОПТИЧЕСКИХ ГРОЗОТРОСОВ

На правах рекламы

Протяженность воздушных линий электропередачи на сотни километров делает их уязвимыми для прямого удара молнии и ее проявлений. При каждом воздействии молнии на энергетическое оборудование происходит выработка ресурса и значительное старение оборудования. Но повреждение от ударов молнии составляет лишь 21% повреждений грозозащитных тросов, а 30% повреждений грозозащитного оборудования происходит из-за коррозии.

Этот факт снова приводит к размышлению о том, какой грозотрос лучше: изготовленный из стальной оцинкованной проволоки или стальной проволоки, плакированной алюминием.

Предприятие ООО «Саранскккабель-Оптика», производит не только грозозащитные тросы, но и грозозащитные тросы со встроенным оптическим кабелем. Завод стоит у истоков российского производства данной продукции, и имеет более чем 10-летний опыт исследований, производства и экспериментов. При изготовлении оптического кабеля, встроенного в грозозащитный трос, «Саранскккабель-Оптика» использует стальную проволоку, плакированную алюминием. По прочности она не уступает оцинкованной, а по коррозионной стойкости значительно превышает ее.

ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГРОЗОЗАЩИТНЫХ ТРОСОВ ВЛ 110–750 КВ, ВЫЗВАВШИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ В РАБОТЕ ВЛ В 1997–2007 ГГ.

Причина	% к технологическому нарушению
Снижение прочности: коррозия, старение (по срокам службы)	32,9
Гололед и ветер, превышающий расчетный	17,9
Вибрация, «пляска проводов»	4,37
Атмосферные перенапряжения	21,1
Посторонние вмешательства	5,5

Таблица 1

Коррозионная стойкость цинка и покрытий на его основе определяется наличием на его поверхности плотных пленок оксидов и гидрооксидов, которые замедляют процесс разрушения цинка. Срок службы покрытия или долговечность — это продолжительность его разрушения до обнажения основы.

КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ ЗА ГОД В РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРАХ

Тип атмосферы	Потери от коррози в год	
	г/м²	мкм
Сельская	7–15	1–2
Морская	20–50	3–7
Городская	20–45	3–6
Промышленная	40–80	6–12

Таблица 2

ТОЛЩИНА ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ В МКМ В ПЕРЕСЧЕТЕ НА Г/М²

Масса покрытия, г/м²	220	255	290	325	360	395	430	470	500	610	685
Толщина покрытия, мкм	30	35	40	45	50	55	60	65	70	85	95

Таблица 3

КОРРОЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ЦИНКОВОГО ПОКРЫТИЯ НА СТАЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ПРОВОЛОКЕ, ОЦИНКОВАННОЙ ПО ГРУППЕ ОЖ, В РАЗЛИЧНЫХ АТМОСФЕРАХ

Тип атмосферы	Полное разрушение цинкового покрытия, годы
Сельская	15–33
Морская	5–12
Городская	5–12
Промышленная	3–6

Таблица 4

Скорость коррозии горячих цинковых покрытий в слабоагрессивной атмосфере составляет 1–3 мкм/год, среднеагрессивной — 3–20 мкм/год. В таблице 2 приведены коррозионные потери цинковых покрытий из расплава толщиной 80 мкм за один год.

Минимальные коррозионные разрушения цинковых покрытий из расплава отмечены в тропиках и в сельской атмосфере — 1–3 мкм в год. В морской атмосфере скорость коррозии составляет 3–7 мкм в год. В промышленной атмосфере от 6 до 12 мкм в год. Коррозия цинковых покрытий в атмосфере промышленных предприятий может достигать от 3 до 22 мкм в год, на металлургических предприятиях она может достигать 50 мкм в год.

Проволока грозотроса МЗ оцинкована по группе ОЖ (особо жесткие условия), что для проволоки диаметром от 2,4 до 3,0 мм составляет 230 г/м² согласно ГОСТ 7372-79 (проволока стальная канатная). Соответственно толщина покрытия цинком проволоки по группе ОЖ в этом случае составит около 32 мкм.

По европейскому стандарту МЭК 888-1987 г. (Проволока из оцинкованной стали для проводов) существуют два класса цинкового покрытия. Для проволоки диаметром от 2,25 до 3,0 мм: класс 1 (230 г/м², — соответственно около 32 мкм) и класс 2 (460 г/м² — 63 мкм). Получается, что российский класс ОЖ в Европе считается нижним классом по цинковому покрытию. Теперь, пересчитав таблицу, представленную ранее, мы получим вот такие результаты (см. табл. 4).

Встает вопрос: как на грозотрос, выполненный из оцинкованной проволоки, срок службы может составлять не менее 40 или 50 лет, в особенности если это касается эксплуатации грозотроса в промышленной атмосфере или прибрежной полосе? Также нужно помнить, что с повышением температуры скорость коррозии цинка увеличивается. Это особенно заметно при температуре около 60°С. При температурах около 70°С в системе цинк — железо происходит изменение потенциала цинка, в результате чего цинковое покрытие становится катодом, а железо анодом. В связи с этим при температурах выше 70°С цинковое покрытие осуществляет только механическую защиту и соответственно его коррозионная стойкость резко падает.

В таблице 5 приведены результаты коррозионных испытаний образцов с цинковым, алюмоцинковым и алюминиевым покрытиями.

После 13 лет испытаний в морской атмосфере (первая строчка табли-

цы) покрытие Гальфан (алюмоцинковое) потеряло 12 мкм, цинковое за это время — 22 мкм (в таблице отмечено прочерком), алюминиевое — 6 мкм. Через 15 лет испытаний скорости коррозии алюминиевого покрытия и покрытия Гальфан сравнялись. В других работах отмечено, что алюмоцинковое покрытие разрушается в промышленной атмосфере с той же скоростью, что и алюминиевое, а в морской среде несколько быстрее. Из этой таблицы четко видно, что цинковое покрытие по коррозионной стойкости на порядок уступает алюминиевому покрытию.

КОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА ЦИНКОВЫХ, АЛЮМОЦИНКОВЫХ И АЛЮМИНИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Испытания, год	Коррозионные потери, мкм			Условия испытаний
	Zn	Al-Zn	Al	
3	13	5	0,2	25 м от океана
13	—	12	6	
3	7	3	1	250 м от океана
13	16	8	3	
3	5	2	0,4	Промышленная атмосфера
13	—	4	2	
3	5	2	0,25	Сельская атмосфера
13	15	5	2	

Таблица 5

Рассмотрим данные по коррозии, представленные компанией Hitachi.

На графике (рис. 1) мы видим процент потери прочности от первоначальной различных типов кабелей при их выдержке в прибрежной полосе в зоне прилива, где на них попадала водяная взвесь.

AS — это график центральной части провода (повив из семи проволок), выполненный полностью из проволок, плакированных алюминием. Внешний повив того же провода также выполнен из проволок, плакированных алюминием.

AAAC — график провода, выполненный полностью из алюминиевого сплава.

GS — график сталеалюминевого провода с сердечником из стальной оцинкованной проволоки. Здесь показан график падения прочности стального оцинкованного сердечника.

Из данного графика видно, что после трех лет эксплуатации началась явно выраженная коррозия стального оцинкованного сердечника провода и его физическое разрушение.

На рисунке 2 представлены две свивки проволок — три стальные проволоки, плакированные алюминием и три стальные оцинкованные проволоки. На свивке оцинкованных проволок отчетливо видны следы коррозии. Данные получены после шести лет работы проводов в Западной Австралии.

С обычными грозотросами без оптической части ситуация ясна. Как же обстоит дело с грозотросом, совмещенным с оптическим модулем из нержавеющей стали и проволоками, плакированными алюминием или стальными оцинкованными проволоками? В таблице 6 указана разность потенциалов, которые выражается в милливольтах. Сочетания, находящиеся под красной линией, приводят к коррозии.

Из таблицы 6 видно, что нержавеющая сталь вступает в гальваническую коррозию как с алюминием,

РЕЗУЛЬТАТ ТЕСТА НА КОРРОЗИЮ

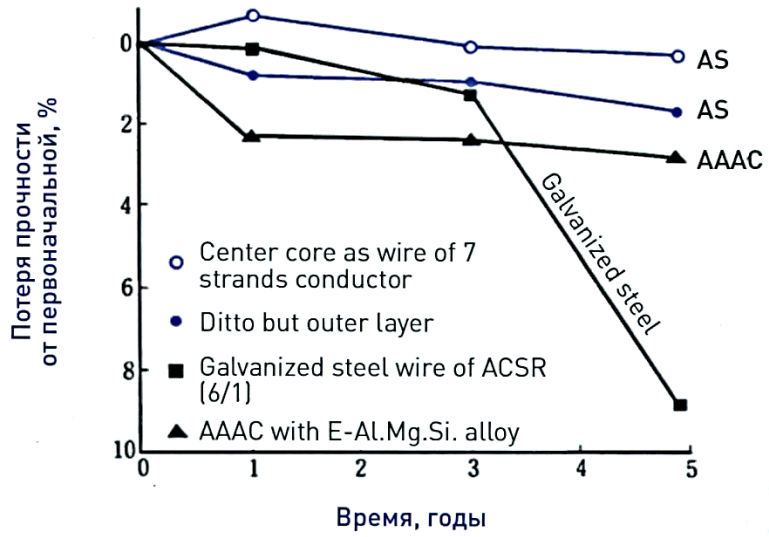


Рис. 1

КОРРОЗИЯ ПЛАКИРОВАННОЙ И ОЦИНКОВАННОЙ ПРОВОЛОКИ В ПРИБРЕЖНОЙ ПОЛОСЕ



3/10 AWG через 6 лет после монтажа в Западной Австралии



Плакированная проволока | Оцинкованная проволока

Поперечное сечение проводов



Плакированная проволока | Оцинкованная проволока

Рис. 2

РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Выбирается к используемому ↓ / Используется →	Нерж. ст. 304 L	Никель	Медь	Латунь	Сталь	Алюминий	Хром	Цинк
Нерж. ст. 304 L	0							
Никель	180	0						
Медь	320	140	0					
Латунь	400	220	80	0				
Сталь	750	570	430	350	0			
Алюминий	840	660	520	440	90	0		
Хром	950	770	630	550	200	110	0	
Цинк	1150	970	830	750	400	310	200	0

Таблица 6

так и с цинком. Причем разность потенциалов между нержавеющей сталью и цинком выше, чем между нержавеющей сталью и алюминием.

Еще одним доводом в этом споре являются исследования коррозионной стойкости алюминия и цинкового термодиффузионного покрытия в контакте с коррозионностойкими сталями.

В таблице 7 представлены данные по коррозионным испытаниям образцов проволоки из нержавеющей стали, алюминия и цинка в трехпроцентном растворе хлорида натрия при периодическом погружении в течение 112, 240 и 320 часов.

Данные исследования показали, что средние скорости коррозии электродных систем нержавеющая сталь — алюминий и нержавеющая сталь — цинк составили для алюминия и цинка примерно одинаковые величины, чего нельзя сказать о коррозии нержавеющей стали. В системе нержавеющая сталь — цинк нержавеющая сталь коррозирует в 1,6 раз быстрее, чем с алюминием.

Этот факт подтверждают и собственные эксперименты, проведенные в испытательном центре «Оптикэнерго», обладающим одной из лучших в России испытательной базой и являющимся органом по сертификации (аттестат аккредитации №RA.RU.11АЖ03). В камере лаборатории был проведен эксперимент по воздействию соляного тумана. Камера позволяет имитировать естественные (ускоренные) условия эксплуатации. В камеру был помещен грозотрос производства ООО «Саранскkабель-Оптика» и грозотрос из оцинкованной проволоки.

Цикл испытаний составил всего 1000 часов. Это чуть более 40 дней. Результат показан на рисунках 3 и 4.

Оцинкованная проволока за это время практически полностью потеряла свое цинковое покрытие и начала коррозировать и разрушаться. В то же время образцы проволоки, плакированной алюминием, не подверглись практически никаким изменениям, что свидетельствует о высокой коррозионной стойкости данного изделия.

КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ (ПРОВОЛОКИ) ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 08Х18Н7Г10АМ3, АЛЮМИНИЯ И ЦИНКА (ТДЦ) В 3 %-НОМ РАСТВОРЕ NaCl ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ПОГРУЖЕНИИ

Условия испытаний электродных систем	Материал для испытаний	Продолжительность коррозионных испытаний								
		112 ч (4,6 сут)		240 ч (10 сут)		320 ч (13,3 сут)			80 ч (3,3 сут) после 240 ч предварительных испытаний	
		потери массы, г/м²	скорость коррозии, г/м²·ч	потери массы, г/м²	скорость коррозии, г/м²·ч	потери массы, г/м²	скорость коррозии			
							г/м²·ч	мм/год	г/м²·ч	мм/год
Одинарные	Нержавеющая сталь	5,22	0,046	6	0,025	6,96	0,021	0,023	0,012	0,013
	Алюминий	11,25	0,1	13,9	0,058	15,2	0,047	0,152	0,016	0,052
	Цинк (ТДЦ)	15,8	0,14	18,7	0,078	21,1	0,066	0,081	0,03	0,045
Двойные системы	Нержавеющая сталь	2,2	0,019	2,4	0,01	2,88	0,009	0,01	0,006	0,0067
	Алюминий	12,5	0,111	15,9	0,066	16,8	0,052	0,168	0,011	0,036
Двойные системы	Нержавеющая сталь	3,7	0,033	4,1	0,017	4,9	0,015	0,016	0,01	0,011
	Цинк (ТДЦ)	18,6	0,166	22,1	0,092	24,8	0,077	0,094	0,033	0,04

Таблица 7

Итак, в системе нержавеющая сталь — алюминий нержавеющая сталь коррозирует в 1,6 раз медленнее, чем с системе нерж. сталь — цинк, что делает это сочетание долговечнее в 5 раз!

В заключении стоит также привести выдержку из стандарта ФСК для ОКГТ 2014 года.

Таким образом, в кабеле ОКГТ, выполненном из оцинкованных проволок, отсутствует возможность варьировать электрические и механические параметры при сохранении геометрии кабеля. В ОКГТ с плакированными проволоками можно применять различные комбинации плакированных проволок и проволок из алюминиевого сплава и получать кабель с различными механическими и электрическими характеристиками.

В районах с агрессивной атмосферой совместное применение стальной трубки с оптическими волокнами и оцинкованной проволоки приводит

МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ НА ОЦИНКОВАННЫХ ПРОВОЛОКАХ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛЯНОГО ТУМАНА

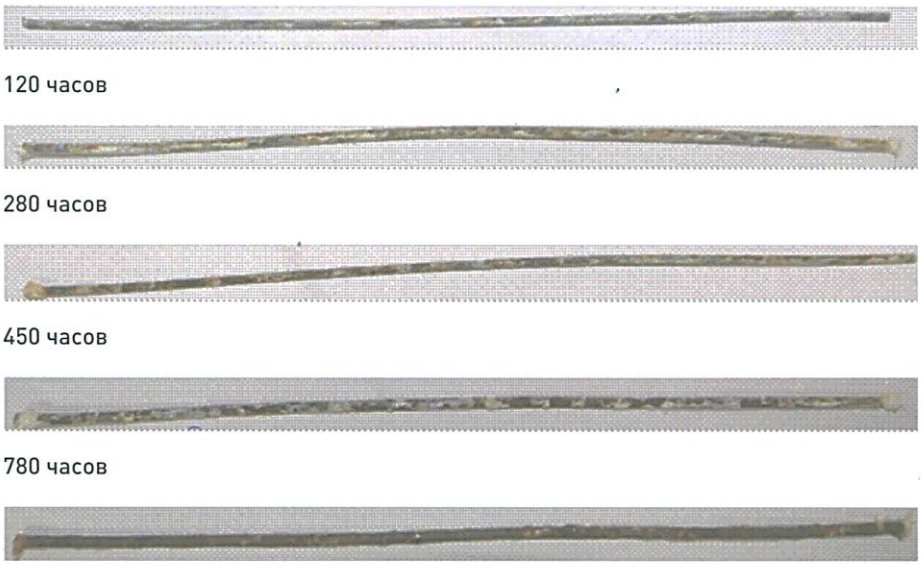


Рис. 3

ГЛУБИНА КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА

Нержавеющая сталь — алюминий	
Для нержавеющей стали	0,0067 мм/год
Для алюминия	0,036 мм/год
Нержавеющая сталь — цинк	
Для нержавеющей стали	0,011 мм/год
Для цинка	0,04 мм/год

Таблица 8

РАСЧЕТНОЕ ВРЕМЯ КОРРОЗИИ МЕТАЛЛА

Нержавеющая сталь — алюминий	
Потеря 50% толщины нержавеющей стали (0,1 мм)	15 лет
Потеря 50% толщины алюминия на плакированной проволоке (0,085 мм)	2,5 года
Нержавеющая сталь — цинк	
Потеря 50% толщины нержавеющей стали (0,1 мм)	9 лет
Потеря 50% толщины цинка на плакированной проволоке (0,016 мм)	0,5 года

Таблица 9

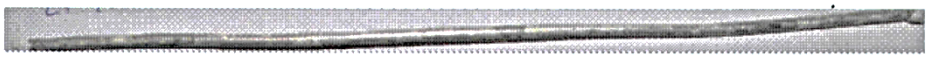
МЕХАНИЗМ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ НА ПРОВОЛОКАХ, ПЛАКИРОВАННЫХ АЛЮМИНИЕМ, ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СОЛЯНОГО ТУМАНА



120 часов



280 часов



450 часов



780 часов



1000 часов

Рис. 4

ВЫДЕРЖКА ИЗ СТАНДАРТА ФСК ДЛЯ ОКГТ

4.2.3 Силовые элементы ОКГТ должны быть однородного качества и изготовлены из одного из следующих материалов или их сочетания:

1) проволока стальная плакированная алюминием [8];
2) проволока из алюминиевого сплава [9].10
3) Проволока стальная оцинкованная для особо жестких условий (ОЖ) (ПУЭ п. 2.5.79).

Допускается любое сочетание проволок стальных плакированных алюминием, проволок из алюминиевого сплава и элементов ОКГТ, изготовленных из алюминиевого сплава и нержавеющей стали, содержащих ОВ. Не допускается сочетание стальной оцинкованной проволоки с проволокой стальной плакированной алюминием, проволокой из алюминиевого сплава и с элементами ОКГТ, изготовленными из алюминиевого сплава и нержавеющей стали, содержащими ОВ.

к гораздо более активной коррозии, чем у ОКГТ, выполненного со стальной трубкой и проволоками, плакированными алюминием или алюминиевым сплавом. При ударах молний, коротких замыканиях, перегреве грозоторса или плавке гололеда происходит отслаивание цинкового покрытия и ослабление защитных функций грозотроса от атмосферных воздействий, что и приводит к коррозии, снижению прочности троса и обрыву. Такой картины не наблюдается на грозоторсах, выполненных из проволоки, плакированной алюминием, которая и лежит в основе кабелей ОКГТ производства ООО «Саранск-кабель-Оптика».