

**ПАО «Россети»
АО «Россети-Тюмень»**

**Тема доклада: «Проблемы эксплуатации ВЛ за Полярным кругом, на примере ВЛ 220 кВ
Надым–Салехард-1,2. Отсутствие надёжных решений для проектирования и
строительства ВЛ (опоры, фундаменты, ЗУ, защитная арматура и др.) в сложных
климатических и геологических условиях Заполярья».**

*Доклад представлен на международной научно-практической конференции
«Опоры и фундаменты для умных сетей: инновации в проектировании и строительстве»
в рамках проведения Международного форума «Электрические сети 2019»
г. Москва, павильоне №75 ВДНХ, 05.12.2019г.*

Докладчик: Богач Игорь Иванович
Начальник электротехнической службы
Департамент эксплуатации и ремонта

Ежегодная аварийность воздушных линий электропередачи 110-220 кВ АО «Россети-Тюмень» расположенных на границе и за Полярным кругом (рис.1), требует разработки **противоаварийных мероприятий**, кроме того одноименный раздел заполняется при оформлении актов расследования причин аварий в ПК «Аварийность», применение которого обязательно для ДЗО ПАО «Россети».

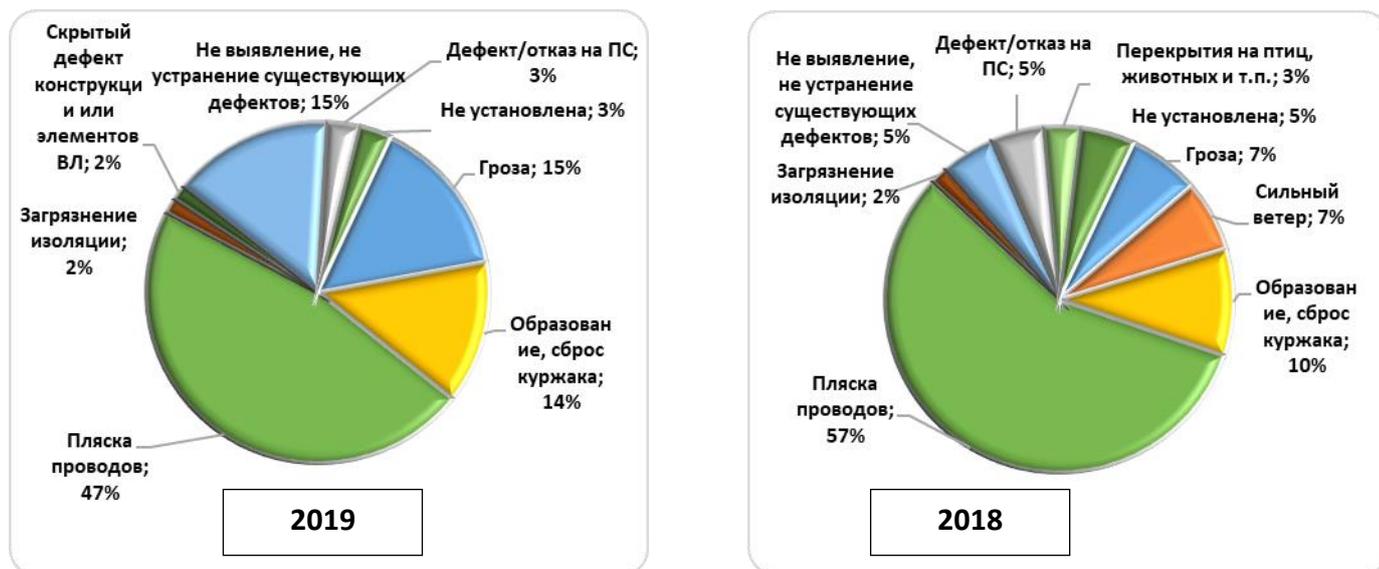


Рис.1. Причины аварий на ВЛ за 2018-2019 гг.

Однако, на практике реализовать противоаварийные мероприятия, исключающие повторение аварии - проблематично, либо не представляется возможным без реконструкции ВЛ при этом возникают проблемы с обоснованием экономической целесообразности таких мероприятий, ввиду отсутствия обесточения или недоотпуска э/э.

Чтобы понять причины низкой надежности рассмотрим относительно новую ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 (рис.2), построенную в 2015 году. За период времени с постройки ВЛ на ней было выявлено более 1200 различных дефектов (табл.1-2).

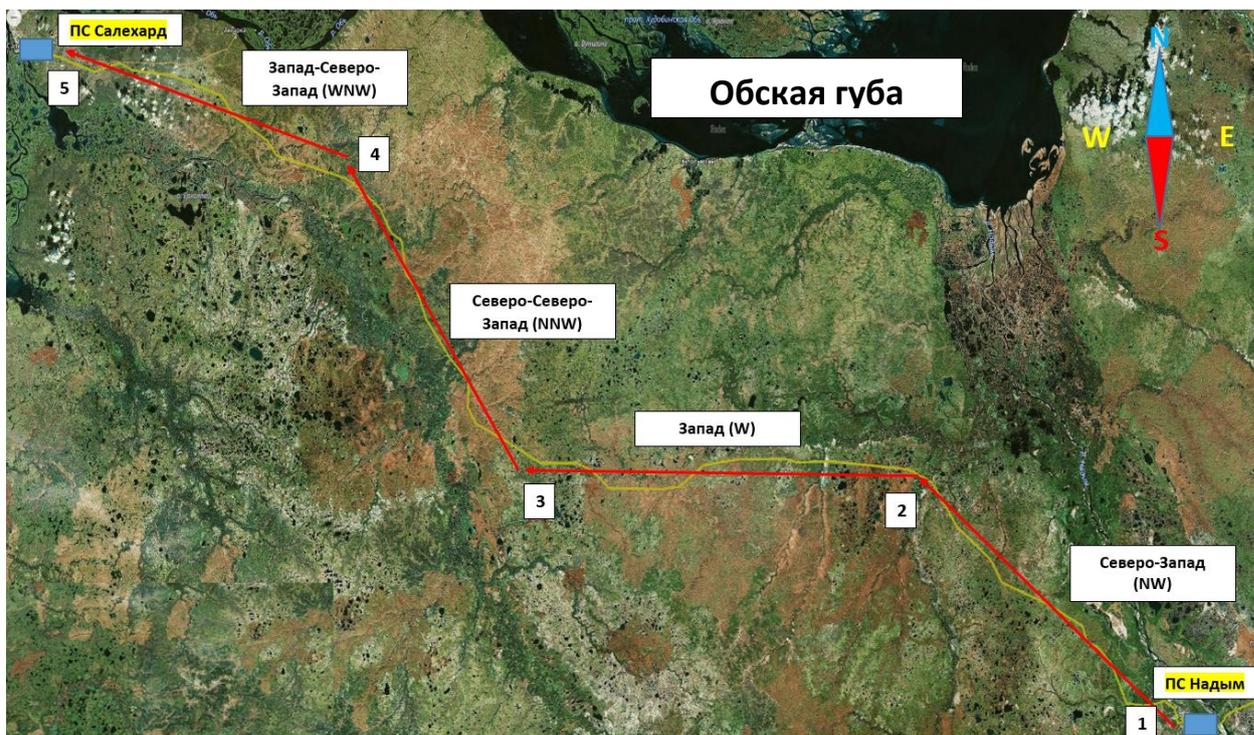


Рис.2. Трасса прохождения ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2.

Основные характеристики ВЛ 220 кВ Надым – Салехард-1,2 цепь:

- Исполнение ВЛ: две одноцепные ВЛ 220 кВ протяженностью - 353 км;

- Марка провода – АС 300/39; грозотрос 1 цепь: ТК-70, 2 цепь: OPGW 75-A20SA;
- Изоляция: 1 цепь – стеклянная, 2 цепь – полимерная.
- Опоры: ПС220-5, У220-1; фундаменты: свайные забивные (из сваи С35-1, L=8-12 м).

Таблица 1

Участки	№№ опор	Кол-во дефектов, шт.	Дефекты по причине:										Прочие дефекты	
			Вибрация (дефекты и смещение ГВ)		Пляска, ГИО (повреждение арматуры, провода/ГЗТ, смещение зажима, развизировка, обрыв шунта)		Несвоевременное выявление дефекта (обрыв провода)		Мороз. пучение (наклон опор)		Дефект ж/б свай (сколы, разрушение бетона)			
			всего	на опору	всего	на опору	всего	на опору	всего	на опору	всего	на опору	Дефект изолятора (стекло)	Прочие дефекты
1_2	1-286	33	5	0,02	0	0,00	0	0,00	12	0,04	0	0,00	8	8
2_3	286-625	82	3	0,01	0	0,00	0	0,00	48	0,14	0	0,00	13	18
3_4	625-783	31	0	0,00	8	0,05	4	0,03	14	0,09	0	0,00	5	0
4_5	783-1055	278	147	0,54	38	0,14	4	0,01	23	0,08	11	0,04	41	14

*Количество дефектов по 1 цепи составляет 424 шт.

Таблица 2

Участки	№№ опор	Кол-во дефектов, шт.	Дефекты по причине:										Прочие дефекты	
			Вибрация (дефекты и смещение ГВ)		Пляска, ГИО (повреждение арматуры, провода/ГЗТ, смещение зажима, развизировка, обрыв ПИ, обрыв шунта)		Несвоевременное выявление дефекта (обрыв провода)		Мороз. Пучение (наклон опор)		Дефект ж/б свай			
			всего	на опору	всего	на опору	всего	на опору	всего	на опору	всего	на опору	Дефекты металловязи	Прочие дефекты
1_2	1-286	111	81	0,28	21	0,07	0	0,00	7	0,02	1	0,003	0	1
2_3	286-625	95	58	0,17	27	0,08	1	0,003	9	0,03	0	0,00	0	0
3_4	625-783	117	59	0,37	41	0,26	0	0,00	10	0,06	7	0,04	0	0
4_5	783-1056	459	286	1,05	150	0,55	4	0,01	4	0,01	9	0,03	5	1

*Количество дефектов по 2 цепи составляет 782 шт.

В 2016 году в рамках договора с АО «НТЦ ФСК ЕЭС» были получены актуализированные карты районирования климатических условий и нагрузок в т.ч. для указанной ВЛ. Сопоставление расчетных климатических условий (по ПУЭ-7) с картами районирования АО «НТЦ ФСК ЕЭС» выявило существенное превышение фактических климатических нагрузок над проектными (табл. 3-4, отмечено красным шрифтом).

Таблица 3

Ветровой район	Уч.1-2 оп.№1-286	Уч.2-3 оп.№286-625	Уч.3-4 оп.№625-783	Уч.4-5 оп.№783-1056
Проектный	III (32 м/с)	III (32 м/с)	IV (36м/с)	IV (36м/с)
Фактический	III (32м/с) IV (36м/с)	IV (36м/с) III (32 м/с)	IV (36м/с) V (40м/с)	VI (45м/с)

Таблица 4

Гололедный район	Уч.1-2 оп.№1-286	Уч.2-3 оп.№286-625	Уч.3-4 оп.№625-783	Уч.4-5 оп.№783-1056
Проектный	II (15 мм)	II (15 мм) III (20 мм)	III (20 мм)	III (20 мм)
Фактический	V (30 мм)	V (30 мм)	V (30 мм)	V (30 мм) VI (35 мм)

Возникает вопрос - насколько критично выявленное превышение нагрузок?

Подвергнем анализу направление, скорость и продолжительность ветров для 2-х участков ВЛ 220кВ Надым-Салехард-1,2 (рис.1): менее проблемного (участок 1-2) и наиболее аварийного участка (участок 4-5) ВЛ (взяты данные сайта: <https://www.meteoblue.com>).

Участок 1-2 (середина участка - опора №143, N65.46860 E72.48094)

Таблица 3

Скорость ветра более,		Продолжительность ветров по сторонам света, час/год															Итого по строке, час/год	
км/ч	м/с	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE		SE
0	0	0	3	0	2	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	11
1	0,28	14	25	17	18	16	25	17	21	16	26	21	16	24	14	17	15	302
5	1,39	85	101	82	86	77	91	79	94	105	113	91	73	81	74	82	75	1389
12	3,33	150	182	162	169	152	157	147	175	201	182	113	83	85	92	107	116	2273
19	5,28	147	189	191	190	174	152	135	192	238	180	87	63	73	74	96	112	2293
28	7,78	112	144	160	145	122	102	86	123	139	89	45	32	41	46	60	75	1521
38	10,56	56	84	86	70	48	49	45	62	60	37	18	14	22	23	31	39	744
50	13,89	15	19	20	15	14	16	12	20	17	12	5	6	5	6	9	9	200
61	16,94	3	4	3	1	2	3	2	4	3	1	1	1	1	2	2	2	35
		582	751	721	696	605	596	523	692	779	641	382	288	333	331	405	443	8768
Преобладающ. направление, (>600 час/год)			751	721	696	605			692	779	641							4885
			Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ			СЗ	ССЗ	С							55,71%
Угол к ВЛ, град.	22,5	45,0	67,5	90,0	67,5	45,0	22,5	0,0	22,5	45,0	67,5	90,0	67,5	45,0	22,5	0,0		
		3369						1975						5344				
		Углы мах энергии ветра						Углы мах энергии ветра						60,95%				

Участок 4-5 (середина участка - опора №920, N66.45040 E67.68279)

Таблица 4

Скорость ветра более,		Продолжительность ветров по сторонам света, час/год															Итого по строке, час/год	
км/ч	м/с	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE	E	ESE		SE
0	0	0	4	0	1	0	3	1	1	0	2	2	0	1	0	1	0	16
1	0,28	25	35	26	36	30	51	33	38	26	37	27	22	36	22	31	25	500
5	1,39	86	130	121	131	114	137	103	102	92	124	110	98	105	83	84	86	1706
12	3,33	89	183	211	231	197	189	110	79	107	202	197	134	112	85	90	89	2305
19	5,28	69	181	235	248	208	151	91	61	80	221	205	107	83	62	56	69	2127
28	7,78	31	113	177	183	138	79	56	31	42	147	123	64	40	27	23	31	1305
38	10,56	8	39	71	70	59	34	28	15	19	83	61	25	15	9	7	8	551
50	13,89	1	8	17	15	15	10	6	2	9	32	20	8	5	3	1	1	153
61	16,94	0	2	2	1	2	2	1	0	2	8	3	1	1	0	0	0	25
		309	695	860	916	763	656	429	329	377	856	748	459	398	291	293	309	8688
Преобладающ. направление, (>600 час/год)			695	860	916	763	656				856	748						5494
			Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З				С	ССВ						63,24%
Угол к ВЛ, град.	45,0	67,5	90,0	67,5	45,0	22,5	0,0	22,5	45,0	67,5	90,0	67,5	45,0	22,5	0,0	22,5		
		3543						2838						6381				
		Углы мах энергии ветра						Углы мах энергии ветра						73,45%				

*Для определения необходимых параметров ветровой нагрузки круговые диаграммы с сайта <https://www.meteoblue.com> (для указанных координат опор) накладывались на карту с ВЛ с учетом ориентации к сторонам света. Желтой заливкой выделены скорости ветра: приводящие к вибрации, серо-голубой заливкой - приводящие к «пляске», красной заливкой выделены преобладающие (по сторонам света и продолжительности в году >600час/год) направления ветров, ярко голубой заливкой выделены стороны света, совпадающие с углами максимальной ветровой энергии (углы от 45-90° по отношению к ВЛ).

Из таблиц 3-4 видны преобладающие направления ветров (выделены красной заливкой):

- Участок 1-2 (табл.3): Юго-Юго-Западное и Северо-Северо-Западное;
- Участок 4-5 (табл.4): Юго-Юго-Западное и Северо-Северо-Восточное.

Справочно: Устойчивая вибрация обычно наблюдается при ветрах скоростью до 7 м/с, направленных под углом от 90 до 45° к оси ВЛ; при направлении ветра под углом 45-30° вибрация носит менее устойчивый характер, а при угле менее 20° - обычно не наблюдается¹.

Выводы из анализа ветровой нагрузки на ВЛ:

¹ РД 34.20.182-90, Раздел 2. Влияние условий прохождения трассы, тяжения проводов и конструкции линии на подверженность и опасность вибрации.

- на участке 1-2 (табл.3) преобладающие ветра с Юго-Запада на 100% совпадают с углами мах ветровой энергии, что указывает на наличие устойчивой вибрации. В тоже время, преобладающие ветра с Северо-Запада только на 1/3 совпадают с углами мах энергии ветра (совпадение с углом 45⁰) и потому менее опасны. Общее время в году приходящееся на ветра с мах энергией и устойчивой вибрацией - 5344ч. или 60,95%, что достаточно много.

- на аварийном участке 4-5 (табл.4) преобладающие ветра с Юго-Запада на 80% совпадают с углами мах ветровой энергии, что указывает на наличие устойчивой вибрации. Преобладающие ветра с Северо-Восточного направления представляют опасность, т.к. направлены на ВЛ под углом 67,5-90⁰ с максимумом ветровой энергии. Общее время в году приходящееся на ветра с мах энергией и устойчивой вибрацией составляет 6381 час или 73,45% (3/4), что критично много, ввиду чего следует ожидать возникновения дефектов.

Для оценки влияния ветра необходимо знать розу ветров в зимний и летний период, т.к. колебательные процессы (вибрация, пляска) тесно связаны с тяжением (выше тяжение-интенсивнее вибрация, вероятнее пляска, т.к. меньше самодемпфирование в проводе). По данным сайта <https://global-weather.ru/archive> (для г. Надым, Салехард) в зимний период преобладают ветра южных направлений, в летний период – северных и северо-восточных.

Очевидно, что длительные ветра в зимний период (когда повышено тяжение и понижено самодемпфирование в проводе) являются основной причиной вибрационного износа и разрушения, как провода, так и гасителей вибрации, быстро срабатывающих свой ресурс в условиях аномально высокой вибрационной нагрузки. Ситуацию усугубляют гололедно-изморозевые отложения, возникающие в период отрицательных температур.

Рассмотрим влияние гололедно-изморозевых отложений (далее – ГИО) на вибрационные процессы, для чего расчетным путём определим частоты вибраций² при разной толщине стенки ГИО на проводе (табл.5).

Таблица 5

Стенка ГИО, мм	Ø провода с учетом стенки ГИО, мм	Частоты колебаний провода при скорости ветра (м/с) более, Гц								
		0,28	1,39	3,33	5,28	7,78	10,56	13,89	16,94	
0	24	2,33	10,71	25,67	40,70	59,97	81,40	107,07	130,58	
1	26	1,99	9,89	23,69	37,57	55,36	75,14	98,83	120,53	
2	28	1,85	9,18	22,00	34,89	51,40	69,77	91,77	111,93	
3	30	1,73	8,57	20,54	32,56	47,98	65,12	85,66	104,46	
4	32	1,62	8,04	19,25	30,53	44,98	61,05	80,30	97,93	
5	34	1,52	7,56	18,12	28,73	42,33	57,46	75,58	92,17	
6	36	1,44	7,14	17,11	27,13	39,98	54,27	71,38	87,05	
7	38	1,36	6,77	16,21	25,71	37,88	51,56	67,62	82,47	
8	40	1,30	6,43	15,40	24,42	35,98	48,98	64,24	78,35	
9	42	1,23	6,12	14,67	23,26	34,27	46,65	61,18	74,62	
10	44	1,18	5,84	14,00	22,20	32,71	44,53	58,40	71,23	
11	46	1,13	5,59	13,39	21,23	31,29	42,59	55,86	68,13	
12	48	1,08	5,36	12,83	20,35	29,99	40,82	53,53	65,29	
13	50	1,04	5,14	12,32	19,54	28,79	39,18	51,39	62,68	
14	52	1,00	4,95	11,85	18,78	27,68	37,68	49,42	60,27	
15	54	0,96	4,76	11,41	18,09	26,65	36,28	47,59	58,04	
16	56	0,93	4,59	11,00	17,44	25,70	34,98	45,89	55,96	
17	58	0,89	4,43	10,62	16,84	24,82	33,78	44,30	54,03	
18	60	0,86	4,29	10,27	16,28	23,99	32,65	42,83	52,23	

2 Для расчета использованы формулы определения частоты образования вихрей из 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».

19	62	0,84	4,15	9,94	15,75	23,21	31,60	41,45	50,55
20	64	0,81	4,02	9,63	15,26	22,49	30,61	40,15	48,97
21	66	0,78	3,90	9,33	14,80	21,81	29,68	38,93	47,48
22	68	0,76	3,78	9,06	14,36	21,17	28,81	37,79	46,09
23	70	0,74	3,67	8,80	13,95	20,56	27,99	36,71	44,77
24	72	0,72	3,57	8,56	13,57	19,99	27,21	35,69	43,53
25	74	0,70	3,48	8,33	13,20	19,45	26,48	34,73	42,35
26	76	0,68	3,38	8,11	12,85	18,94	25,78	33,81	41,24
27	78	0,66	3,30	7,90	12,52	18,45	25,12	32,94	40,18
28	80	0,65	3,21	7,70	12,21	17,99	24,49	32,12	39,17
29	82	0,63	3,14	7,51	11,91	17,55	23,89	31,34	38,22
30	84	0,62	3,06	7,33	11,63	17,13	23,32	30,59	37,31
31	86	0,60	2,99	7,16	11,36	16,74	22,78	29,88	36,44
32	88	0,59	2,92	7,00	11,10	16,36	22,26	29,20	35,61
33	90	0,58	2,86	6,85	10,85	15,99	21,77	28,55	34,82
34	92	0,56	2,80	6,70	10,62	15,64	21,30	27,93	34,06
35	94	0,55	2,74	6,55	10,39	15,31	20,84	27,34	33,34
Таблица 6									
		Тип гасителя		Резонансные частоты ГВ-6645-02М, Гц					
		ГВ-6645-02М		< 8	8...16	25...28	40...50	78...95	> 95
		Уровень защиты		неуд.	хор	удовл	отл.		неуд.

Оценка защищенности провода (табл.6) в различных диапазонах частот вибрации сделана на основании графика по мощности рассеяния гасителей вибрации типа ГВ-6645-02М (установленных на ВЛ), предоставленных АО «Электросети» (г. Москва).

Выводы по разделу: в диапазоне частот до 8 Гц провод имеет не удовлетворительную защиту от вибрации, аналогично при других частотах (комбинациях скоростей ветра и стенки ГИО) выделенных красной заливкой. В диапазонах с отсутствием защиты от вибрации провод будет подвергаться повышенному виброизносу и повреждаться, гасители вибрации при работе за пределом резонансных частот будут накапливать усталостные повреждения демпферного троса и разрушаться.

Связь дефектов с климатическими условиями и конструктивным исполнением ВЛ

Рассмотрим причинноследственную связь между погодно-климатическими условиями и возникновением дефектов (табл. 7).

Таблица 7

Погодно-климатические и геологические условия	Воздействие на ВЛ	Дефекты
Длительный период низких температур, сильный ветер	Повышенное тяжение, длительная вибрация, морозная хрупкость	Ускоренная выработка ресурса ГВ, разрушение ГВ, виброизнос, обрывы провода/грозотроса
Образование ГИО из-за вымораживания болот, озер	НЧ вибрация, частая пляска, динамические нагрузки на арматуру, изоляцию, провод, г/трос	Короткие замыкания, обрывы изоляции, повреждение, обрыв провода, г/троса
Значительные перепады температур в течении суток (до 25°C и более)	При понижении t°C увеличивается тяжение, возникает вибрация, пляска, ГИО; повышение t°C - сильные ветра, пляска, сброс ГИО	Ускоренная выработка ресурса ГВ, виброизнос, обрыв провода, межфазные замыкания, обрывы изоляции, повреждение, обрыв провода, арматуры
Пучинистые грунты	Морозное пучение (выдавливание) свай фундамента из грунта	Деформация уголков опоры, потеря несущей способности фундамента, наклон/падение опоры

Высокая обводненность и заболоченность почв	Многочисленные циклы промерзания-оттаивания, криогенное разрушение бетона свай («морозное выветривание»)	Повреждение ж/б свай, утрата несущей способности свай фундамента, необходимость ремонта или замены фундамента
Высокое удельное сопротивление грунтов	Низкая грозоупорность ВЛ из-за ограничения растекания тока молнии	Обратные перекрытия, изоляции, оплавления провода, г/троса при протекании тока КЗ
Деградация (отступление) вечной мерзлоты	Изменение расчетных условий работы фундамента	Потеря несущей способности свай (фундамента), падение опор

Анализ причин возникновения дефектов по цепям и участкам ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 установил связь дефектов с климатическими нагрузками и конструктивным исполнением ВЛ и позволил сформулировать следующие выводы:

1. Основные дефекты (составляют 77% от общего кол-ва, табл.1-2) на ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 появились вследствие воздействия сверхрасчетных (табл.3-4) гололедно-ветровых нагрузок. Максимум повреждений получено в результате воздействия вибрации частотой 2÷25 Гц (данные табл.5, слева от голубой линии) длящейся в течении до 3/4 времени в году, в условиях недостаточной эффективности ГВ в диапазоне до 25 Гц (два узких диапазона резонансных частот $\approx 8-16$ Гц и $\approx 25-28$ Гц, см. табл.6);

2. Превышение в 1,84 раза количества дефектов по 2 цепи (782 дефекта) над количеством дефектов по 1 цепи (424 дефекта), обусловлено типом примененной изоляции (1 цепь – стеклянная, 2 цепь – полимерная изоляция), так как в остальном конструктивное исполнение цепей ВЛ идентично;

3. Предрасположенность линейных полимерных изоляторов (ПИ) к повреждению и обрывам при воздействии интенсивных гололедно-ветровых нагрузок в условиях Арктики, обусловлена их конструктивной жесткостью. Гирлянда стеклянных изоляторов подвижная, каждый изолятор имеет 3 степени свободы, за счет чего она способна рассеивать часть энергии (при вибрации, пляске) и работает только на растяжение, усилия на сжатия рассеиваются при её изгибе. ПИ имеет жесткую конструкцию и не имеет возможности рассеивать энергию на сжатие и вынужден её частично поглощать, частично передавать на опору. Необходимо отметить, что ПИ рассчитан прежде всего на растягивающую нагрузку, и режим «на сжатие» – это аварийно-допустимый режим, который приводит к накоплению дефектов и повреждению стеклопластикового стержня. Ситуацию усугубляют отрицательные температуры, которые приводят к снижению модуля упругости стержня и проявлению эффекта морозной хрупкости в виде излома стержня в оконцевателе;

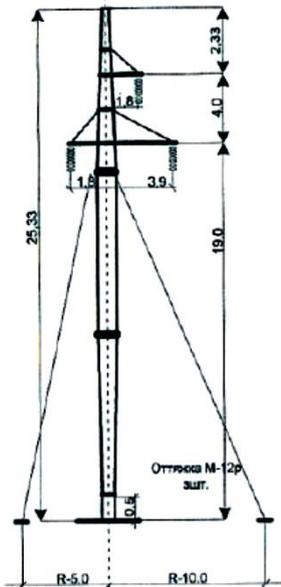
4. Преимущественное сосредоточение дефектов на участке 4-5 ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 объясняется наиболее тяжелыми климатическими условиями (табл.3-4);

5. Схема виброзащиты реализованная на ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 не эффективна, что подтверждается преобладанием дефектов, полученных в результате вибрации (53% от всех дефектов). Ситуация усугубляется при образовании ГИО, которые увеличивают диаметр провода и меняют его аэродинамические характеристики, сдвигая диапазоны частот вибрации за резонансные частоты гасителей вибрации, результате чего провод оказывается не защищенным от вибрации (см. выводы к табл.5-6);

6. Недостаточная устойчивость ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 к пляске обусловлена длинными пролетами, повышенным тяжением, большими стрелами провеса в совокупности с дополнительной вытяжкой провода (до 5%, согласно п.4.7.3 РД 34.20.504-94 «Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 35-800 кВ») в эксплуатации. Вытяжка провода приводит к несоответствию проектных пролетов со стрелой провеса $\geq 12,3$ м (при среднегодовой температуре -5°C) требованиям ПУЭ-7 Глава 2.5 Таблица П4 Приложения «Расстояния между проводами и между проводами и тросами по условиям пляски». Например, произведя пересчет наименьшего смещения проводов соседних ярусов по горизонтали для опоры ПС220-5 для увеличенной на 5% стрелы: $12,3 \cdot 5\% = 12,9$ м (экстраполяцией) получим, что наименьшее смещение должно составить не менее 2,21 м при

фактическом – 2 м, что не соответствует ПУЭ. Другими словами, при «пляске» проводов при -5°С с амплитудой равной стреле провеса (при увеличенной в эксплуатации на 5% стреле), в пролетах с проектной стрелой 12,3 м и более, возможен схлест проводов и межфазные КЗ, ввиду эллипсообразного движения проводов при пляске.

Промежуточные выводы: ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2, построенная в соответствии с ПУЭ-7 с применением типовых решений (опоры, фундаменты, длины пролетов, тяжение, стрелы провеса, виброзащита и др.) обречена на повышенную аварийность ввиду конструктивного несоответствия климатическим условиям и нагрузкам Арктики.



PMO 110-3(p)

Еще сложнее ситуация с надежностью ВЛ 110 кВ расположенными дальше за Полярным кругом (в Ямбургском РЭС филиала Северные электрические сети). При проектировании и строительстве ВЛ в 80-х годах прошлого века, по причине малой изученности региона и практически полном отсутствии дорожной инфраструктуры, в условиях необходимости срочного сооружения электросетевых объектов для освоения Ямбургского газоконденсатного месторождения, без проведения должных изысканий при проектировании и строительстве ВЛ были применены типовые строительные решения, включая быстровозводимые облегченные многогранные опоры на оттяжках типа ПМО110-3. Учитывая, что местность является малозаселенной, были применены максимальные (по соблюдению габаритных расстояний) длины пролетов до 400 метров и более. В ходе строительно-монтажных работ (для ускорения темпов строительства фундаментов в вечной мерзлоте) свайные фундаменты были пересогласованы на винтовые сваи (для вечномерзлых грунтов) длиной до 5 метров. В результате, уже в первые годы эксплуатации начали выявляться просчеты, ведущие к высокой аварийности ВЛ (табл.8).

Таблица 8

<p>Обрывы проводов из-за образования ГИО</p>	
<p>Нарушение межфазных и габаритных расстояний из-за ГИО</p>	

«Морозное выветривание»
свай фундамента опор ВЛ



Падение опор из-за морозного
пучения трубных
фундаментов



Падение опоры из-за
морозного пучения трубных
фундаментов



Наклон опоры из-за
морозного пучения свайных
фундаментов



<p>Морозное пучения свайных фундаментов</p>	
<p>Вибрационный износ провода в поддерживающем зажиме (обрыв жил верхнего повива под спиральным протектором в месте установки «сухаря»)</p>	
<p>Усталостные разрушения гасителей вибрации</p>	
<p>Обрыв «пестика» изолятора из-за пляски</p>	

Помимо проблем аналогичных с проблемами ВЛ 220 кВ Надым-Салехард-1,2 (низкая устойчивость ВЛ к вибрации, пляске, ГИО) для ВЛ 110 кВ Ямбургского РЭС, построенных с

применением облегченных опор ПМО110-3 с оттяжками на трубных фундаментах, характерны свои специфические дефекты, обусловленные примененными конструктивными решениями:

- Облегченная конструкция опоры ПМО110-3 с минимальными расстояниями между траверсами (4м) и между верхней траверсой и г/тросом (2,33м) приводит к частым межфазным замыканиям и замыканиям между г/тросом и верхней фазой при образовании изморозевых отложений и ветре, при сбросе изморозевых отложений, при пляске (в период активного образования и сброса изморози, при пляске может происходить до 5 и более отключений ВЛ в течении нескольких часов);

- При пляске проводов и сбросе ГИО (при подбросе траверсы вверх) укосины траверс, выполненные из прута Д16мм, подвергаются ударной нагрузке и деформируются;

- Металлические узколопастные винтовые сваи для вечномерзлых грунтов (из которых выполнен фундамент опоры) за счет повышенной теплопроводности металла растепают вечномерзлый грунт вокруг свай, что приводит к нерасчетному режиму работы фундамента в период оттайки верхнего деятельного слоя, подвижкам свай в грунте, потере несущей способности и падениям опор при ветре;

- Динамические нагрузки на опору, накопление воды в нижней (конусной) секции многогранной опоры приводят к повреждению сварных швов и раскрытию гнутой многогранной конструкции опоры, технологии ремонта в полевых условиях - нет;

ВЫВОДЫ: Для строительства ВЛ за Полярным кругом и в Арктике необходимы специальные конструктивные решения, учитывающие совокупное влияние негативных природных воздействий. Следование нормативным требованиям ПУЭ-7 не обеспечивает должную надежность работы ВЛ, в том числе, за счет постепенно меняющихся климатических условий и возникающего несоответствия между расчетными нагрузками и фактическими климатическими условиями. Исходя из текущей ситуации (отсутствие специальных опор с горизонтальным расположением фаз устойчивых к пляске, отсутствие фундаментов, адаптированных для массового строительства ВЛ на вечной мерзлоте, отсутствие специальной защитной и линейной арматуры, ЗУ для высокоомных грунтов и т.д., остается использовать типовые решения и идти путем сокращения длин пролетов, понижения тяжения, увеличения межфазных расстояний, т.е. максимально усиливать ВЛ. Однако данный подход не является оптимальным, как с точки зрения экономической эффективности, так и с точки зрения обеспечения должной надежности.

АО «Тюменьэнерго»

Сургут

+7 (3462) 77-63-50

can@id.te.ru

Богач Игорь Иванович

+7 (3462) 77-63-27

bogach-ii@te.ru

<http://www.te.ru>