

24-26.06.2026 Санкт-Петербург Россия

**XII МНПК «ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ДЛЯ ВЛ: ТЕХНОЛОГИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА»**

**ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА КОНСТРУКЦИЙ ВЛ:
АВАРИИ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ МОБИЛЬНЫЕ ОПОРЫ**



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



РОССЕТИ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

**Сенькин Николай Александрович,
к.т.н., главный эксперт Департамента комплексных проектов АО «Россети НТЦ»;
доцент кафедры металлических и деревянных конструкций СПбГАСУ**

senkin1952@yandex.ru

+79214348738

23.04.2026

Санкт-Петербург - 25.06.2026

1. ВВЕДЕНИЕ

Электроэнергия — основа современной цивилизации — является универсальным источником энергии, которую можно передавать на дальние расстояния, обеспечивая жизнедеятельность общества и функционирование всех секторов экономики.

Передача электроэнергии осуществляется посредством воздушных линий электропередачи (ВЛ): магистральных ВЛ 220-750 кВ – на дальние расстояния с развитием Единой энергетической сети страны, региональных ВЛ 35-220 кВ – для электроснабжения региональных потребителей.

Проблема обеспечения надежности ВЛ является актуальной во все времена. Заместитель председателя Комитета Совета Федерации РФ по экономической политике Ю.В. Федоров сообщил, что по состоянию на 03.10.2024 г. «электросетевой комплекс страны включает 2,6 млн км сетей. Средний износ по всем сетям на сегодня составляет 72%, динамика с каждым годом ухудшается. Поэтому большое внимание будет уделяться модернизации с реконструкцией сетей».

«Правила расследования причин аварий и инцидентов в электроэнергетике», утв. пост. Правительства РФ от 29.09.2025 г. № 1489: технологическое нарушение в электроэнергетике понимается аварийное отключение и (или) повреждение линии электропередачи в целом, причем технологическое нарушение является аварией, если произошло прекращение электроснабжения потребителей электроэнергии суммарной мощностью 100 МВт и более. Следовательно, повреждение ВЛ в целом, как полное прекращение функционирования ВЛ с остановом электроснабжения потребителей, является результатом падения опоры (опор) как аварии ВЛ.

Профессор ЛениСИ (сейчас СПбГАСУ) В.А. Труль в докт. диссертации «Исследование действительной работы конструкций опор ВЛ» (1966) обратил внимание будущих исследователей на высокую необходимость анализа нагрузок аварийного режима на опоры.

2. Аварии: определение. ПО-1. ПО-2. Причина – ветер +



По СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия» и ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» к прогрессирующему (лавинообразному) обрушению (ПО) следует отнести последовательное (цепное) разрушение несущих элементов строительной конструкции - опоры ВЛ по причине начального локального повреждения элементов конструкции опоры или фундамента и приводящее к обрушению сооружения или его частей. Это прогрессирующее обрушение первого рода (ПО-1) - локальное повреждение несущей конструкции опоры, возникающее при особых аварийных воздействиях согласно СП 20.133330.2016 (Изм. 1, 2, 3) в результате взрыва, пожара, землетрясения, вандализма, резкого нарушения технологического процесса, неисправности оборудования (например, обрыв провода, грозотроса или оттяжки), деформаций основания с изменением структуры грунта (оползни, морозное пучение), от столкновения транспортных средств с частями сооружения, вследствие воздействия сверхрасчетных климатических нагрузок (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) и т.д.

Последующее прогрессирующее обрушение второго рода (ПО-2) представляет массовое разрушение опор и фундаментов на участках ВЛ, вызванное особыми аварийными нагрузками, возникающими по причине сверхрасчетных природно-климатических воздействий, а также вследствие падения отдельных опор при ПО-1, вовлекающих соседние опоры. Аварийные повреждения конструкций, включая падение опор ВЛ, отвечают действительной работе конструкций и могут привести к наступлению ПО: сначала наступает ПО первого рода (ПО-1) по причине внешнего воздействия, разрушающего опору, а затем второго рода - ПО-2.



Рис.1. Падение 12 опор на оттяжках типа П750-1 на ВЛ 750 кВ «Курская АЭС – Новобрянская» . 28.04.2013 из-за сверхнормативных ветровых нагрузок

3. Аварии: ПО-1. Причина – вандализм +

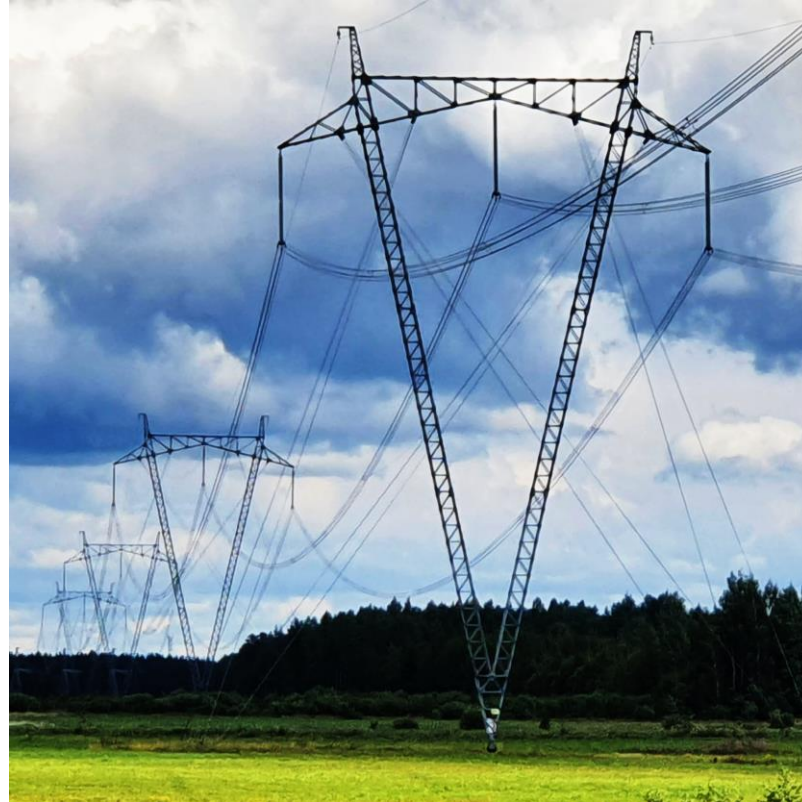


Рис. 2. Аварийное падение промежуточной опоры ВЛ 750 кВ в результате подрыва . 01.05.2023 (Ленобласть, фото губернатора А.Ю.Дрозденко); ВЛ 750 кВ с опорами на оттяжках типа «набла» после восстановления (Ленобласть); падение свободностоящей опоры ВЛ 220 кВ по причине вандализма со снятием раскосов в нижней части опоры (Забайкалье, 2022.09.06)

4. Аварии: ПО-1. Причина – вандализм +

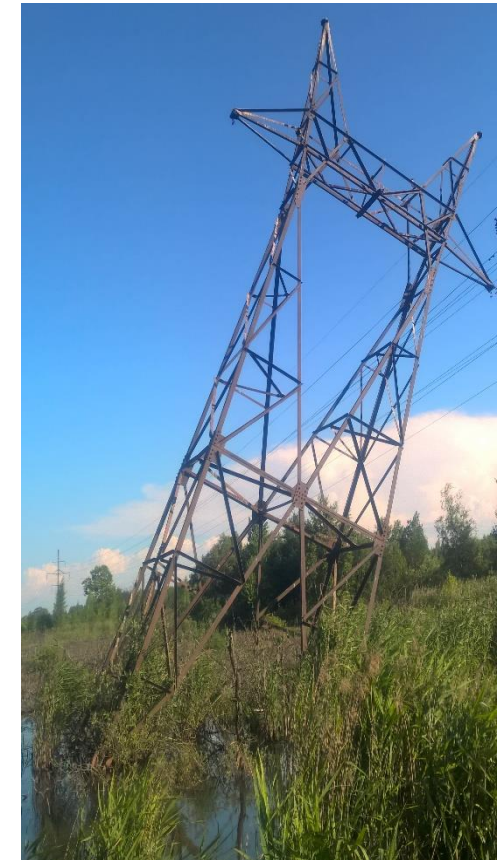
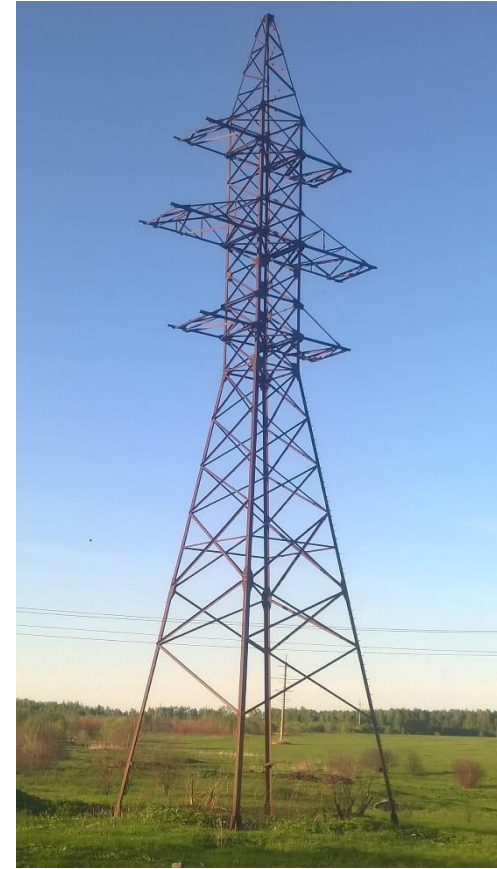


Рис. 3. Повреждение промежуточной многогранной опоры ВЛ 330 кВ в результате подрыва . 20.11.2015 (Украина),

Рис. 4. Анкерно-угловая опора на ВЛ 220 кВ со снятыми раскосами в нижней секции (Владимирская обл., 2018),

Рис. 5. Поврежденная анкерно-угловая опора ВЛ 220 кВ «американка» в 2018 году на ВЛ 220 кВ «Волховская ГЭС – ПС220 кВ Волхов-Северная» в Ленинграде (проект профессора ЛПИ Н.П.Виноградова, 1926) с вырезанной вандалами нижней частью

5. ПО-2. Сверхнормативная ветровая нагрузка ВЛ220кВ «Дорохово-Слобода 1,2» (14.07.2016)



Рис. 6. Упала промежуточная опора №60 на ВЛ220кВ ($\alpha=130^\circ$ $\text{tg } \alpha = 1,1918$)



Опора №57 ($\alpha=10^\circ$ $\text{tg } \alpha = 0,1763$) ! Опора №58 ($\alpha=15^\circ$ $\text{tg } \alpha = 0,2679$) ! Опора №59 ($\alpha=25^\circ$ $\text{tg } \alpha = 0,4663$)

7. ПО-2. АВАРИЯ НА ВЛ 110 кВ в КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛ. 22.05.2015

а)



б)



Рис. 11 – Падение двух двухцепных опор ВЛ 110 кВ от сильного сверхрасчетного ветра. Кемер.обл, пос. Яя, 22.05.2015

Рис. 12. Расчетные модели

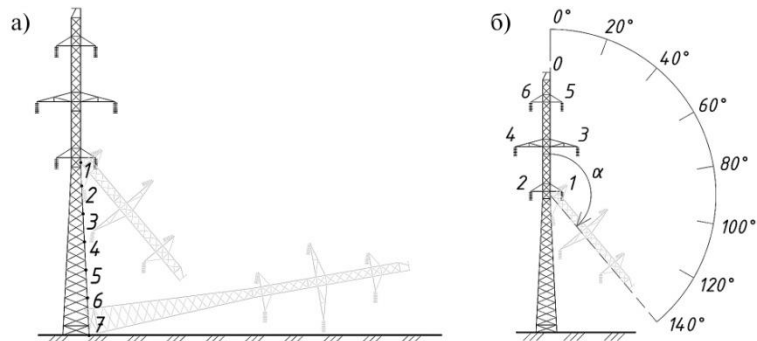


Рис. 12. Расчетная схема при обрыве ГЗТ

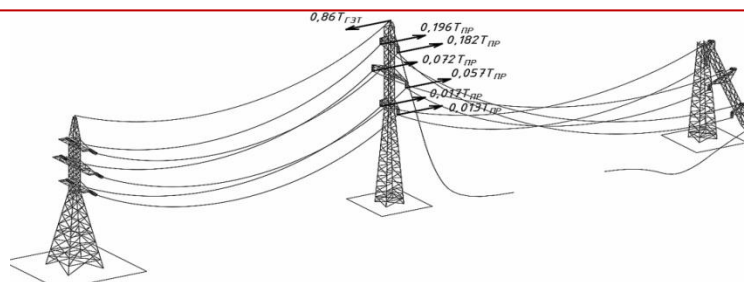
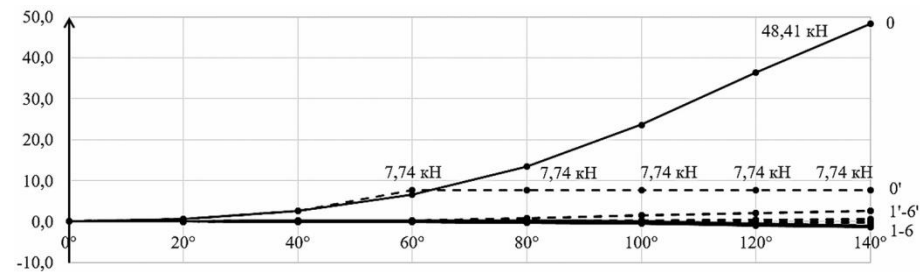
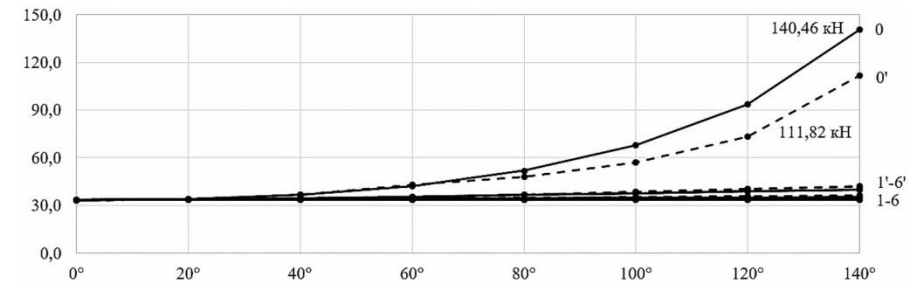


Рис. 13-14. Графики усилий в проводах и тросах



8. Аварии на ВЛ 6-154 кВ в 2024-2026 гг. (открытые источники информации). Рис.15

№ пп.	Дата (год, месяц, день)		Место повреждения	Класс напр., причины аварий	Описание аварий
	аварии	восстановл.			
1	2026.01.23	2026.02.05	Мурманская обл., 7 км от Мурманска на Североморск	ВЛ 154 кВ, сильный ветер, снегоналипание и мороз	Падение 5 опор, повреждение 1 опоры, обрыв ГЗТ (рисунок 1) [6]
2	2026.01.09	2026.01.28	Тверская обл.	ВЛ 6-110 кВ, циклон Френсис, снег и ветер 18 м/с	Падение опор, обрыв проводов [7]
3	2025.10.28	2025.10.28	Сахалин	Обрыв грозотроса	- [7]
4	2025.07.23		Волгоградск. обл., г. Волжский	ВЛ 110 кВ, ураганный ветер, град	Падение 4 промежуточных опор [3]
5	2025.06.21		Сургутский район, ХМАО	Ураганный ветер	Падение 5 опор [7]
6	2025.06.19	2025.06.25	Новосибирск. обл.	ВЛ 6-10 кВ шквалистый ветер с грозой	Падение 81 опоры и обрывы проводов [7]
7	2025.05.01	2025.05.10	Подмосковье	ВЛ 6-110 кВ, циклон, снег	Обрыв проводов 1500 пролетов [7]
8	2024.05.04		Свердловская обл.	Повреждения 7 ВЛ 110 кВ, 7 ВЛ 35 кВ и 39 ВЛ 6-10 кВ	Падение деревьев, снег и сильный ветер [7]
9	2024.10.19	2024.10.20	Санкт-Петербург	ВЛ 110 кВ	Падение опоры под воздействием БПЛА [7]
10	2024.08.04		Новосибирск. обл.	ВЛ 110 кВ,	погрузчик сбил стальную опору [7]
11	2024.02.11		Ростовская, Волгоградск., Астраханская обл., ЛНР	Ледяной дождь: (ледяная корка толщ. до 10 см), сильный ветер	Массовые поврежд. ВЛ с обрывом проводов, поврежд-ем опор [7]



9. Авария на четырех ВЛ 154 кВ «Мурманск-Североморск» (23.01-05.02.2026)

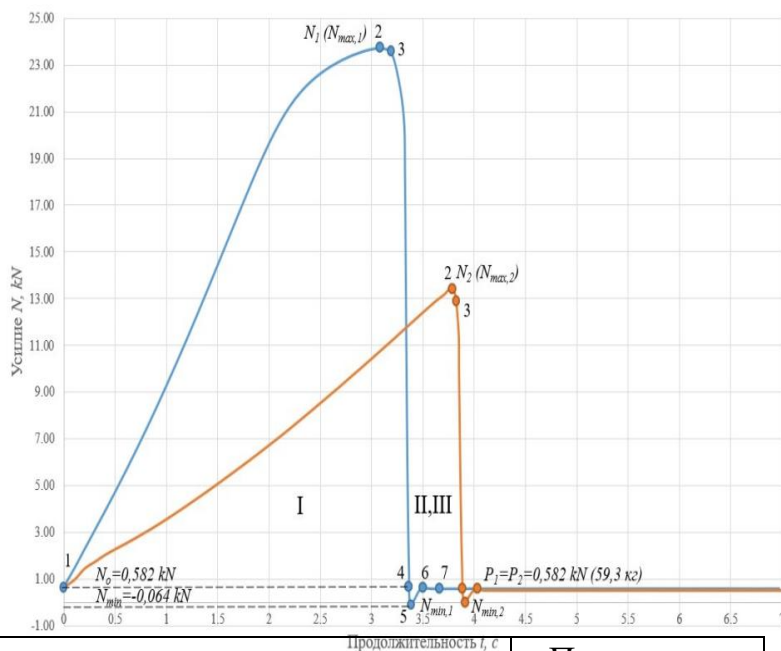
В период (23.01-05.02.2026) произошли повреждения конструкций на четырех ВЛ 154 кВ в Мурманской обл. с падением 5 промежуточных опор на оттяжках и повреждением свободностоящей анкерно-угловой опоры и последующим обрывом стального грозозащитного троса (ГЗТ) по причине значительного износа конструкций в связи с продолжительной эксплуатацией привели к аварийному отключению электроснабжения (блэкаут) Мурманска и Североморска с введением режима чрезвычайной ситуации (рисунок 15).

Опоры обрушились 23 января 2026 года (рисунок 15) при воздействии повышенных ветровых и гололедных нагрузок при значительных отрицательных температурах по причине высокого коррозионного износа конструкций в связи с долгим сроком службы: на одной ВЛ 154 кВ две опоры находились в эксплуатации с 1966 года (60 лет), на второй и третьей ВЛ две опоры — с 1982 года (43 года), на четвертой ВЛ опора — с 1988-го (37 лет) при нормативном сроке эксплуатации 50 лет. 24 января вечером из Карелии (пос. Лоухи) и Ленобласти были доставлены опоры для установки вместо упавших аварийных, включая временные. В связи с отсутствием электроснабжения Мурманска и Североморска-3 25 января был введен режим чрезвычайной ситуации с круглосуточным выполнением АВР. 25-26.01.2026 сборка и монтаж двух временных деревянных опор типа ПД110-5 из готовых энергостолбов вместо одной упавшей: монтаж первой опоры экскаватором, а второй – вертолетом МИ-8. 19 дизельных генераторов общей мощностью 2,4 МВт обеспечивают резервное электроснабжение социально значимых объектов. 27.01.2026 завершена подвеска проводов на временные опоры и произведено включение подстанции 150 кВ «Промзона» в Мурманске с отменой всех ранее введенных ограничений по электроснабжению потребителей. 27-31.01.2026 осуществлены: доставка фундаментов на грузовых площадках тракторами, а также пяти опор вертолетом на трассу и установка пяти постоянных опор ВЛ 220 кВ на оттяжках. Вторая волна аварийных отключений произошла утром 31.01.2026 в связи с обрывом ГЗТ и перекрытием проводов. На основании результатов осмотра принято решение о замене поврежденной анкерной опоры, она была шестой в ряду замен. 05.02.2026 выполнены: демонтаж двух временных деревянных опор и установка постоянной и установка анкерной свободностоящей стальной опоры, подвеска проводов и ГЗТ.

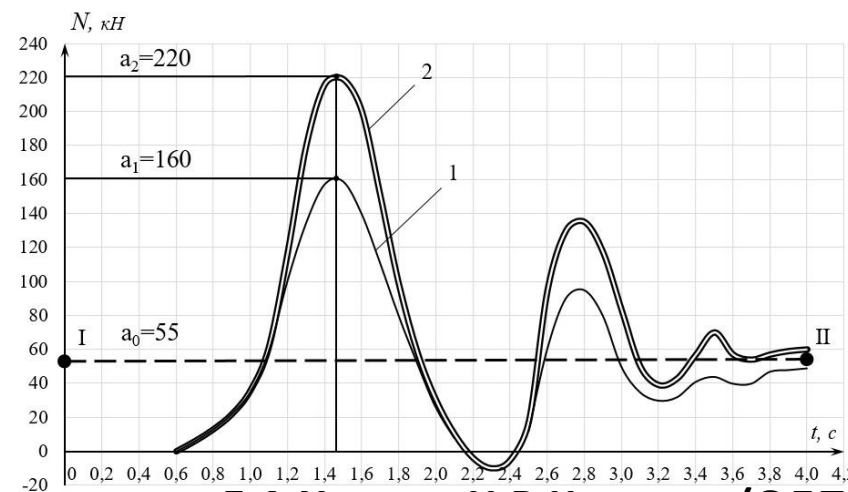
10. АВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ВЛ: ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОНСТРУКЦИИ

1. ПО-1 в результате внезапного удаления элемента (Рис. 16)

2. ПО-2 при обрыве среднего провода* (Рис. 17)



Опора	Фаза	Вид нагрузки	Усилия тяжения в проводах фазы, кН и коэффициенты динамичности d_0				
			опора типа ПО		опора типа ПО-МП		средне-арифметическое
№ 1	крайняя	динамика	6850	1,89	7000	2,54	
		статика	3620		2760		
№ 2	средняя	динамика	12700	1,72	9800	2,55	
		статика	7380		3840		



$$d = N_{din} / N_{max}$$

ПО-1 $d=1,05$
ПО-2 $d=2,00$

№ п/п	Параметры			Усилия в стержне, Н						Показатель динамичности
	P, кг	δ , мм	A_n , мм ²	N_0	$N_2 (N_{max})$	$N_5 (N_{min})$	N_6	N_7	N_{din}	d
1	7,3	2,0	12	554	10807	68	71	68	3	0,0003
2	39,3	1,5	18	519	21739	-670	176	138	846	0,0389
3	17,3	1,0	24	422	16183	369	378	370	9	0,0006
4	59,3	1,0	24	670	13378	100	534	520	434	0,0324
5	54,3	2,0	12	414	9741	315	537	523	222	0,0228
6	39,3	1,5	18	459	21240	378	536	521	158	0,0074
7	54,3	0,5	30	516	23578	155	567	525	412	0,0175
8	59,3	0,5	30	699	23718	-64	576	582	644	0,0272

11. Аварийный режим при обрыве верхнего провода

В соответствии с п.п. 6.1.2 ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований» (с изм. №1) «динамические воздействия допускается приводить к эквивалентным статическим нагрузкам за счет введения соответствующих коэффициентов динамичности, учитывающих возникающие в сооружениях силы инерции».

По п. 2.5.142 ПУЭ-7 [5] расчётная условная горизонтальная нагрузка на свободностоящую металлическую опору, а также опоры на оттяжках из разных материалов, от проводов на ВЛ с нерасщепленными или однопроводными фазами (площадь сечения алюминиевой части до 185 мм²) с коэффициентом надежности 1,3 (коэффициент динамичности при обрыве):

$$T_{ав} = 0,5T_{max} = 0,5 \cdot 1,3T_{max}^n = 0,65T_{max}^n, \quad (1)$$

где T_{max} - наибольшая расчетная нагрузка от тяжения провода; T_{max}^n - наибольшая нормативная нагрузка от тяжения.

$$\text{То же, при сечении алюминиевой части проводов } 205 \text{ мм}^2 \text{ и более: } T_{ав} = 0,4T_{max} = 0,4 \cdot 1,3T_{max}^n = 0,52T_{max}^n. \quad (2)$$

По п. 2.5.143 нагрузка от тяжения при обрыве одиночного троса: $T_{ав} = 0,5T_{max} = 0,5 \cdot 1,3T_{max}^n = 0,65 T_{max}^n. \quad (3)$

В ПУЭ-7 назначен динамический коэффициент $d_0 = 1,3$ на усилия при обрыве проводов фазы, который можно считать подтвержденным и оставить без изменения для **расщепленной фазы, состоящей из 2-5 проводов для ВЛ 330-750 кВ**. Но для однопроводных фаз для ВЛ 35-220 кВ коэффициент k применять не следует, тогда при расчете воздействия на опору одиночного провода либо грозозащитного троса автором рекомендуется применение в расчетах динамического коэффициента $d_0 = 2$.

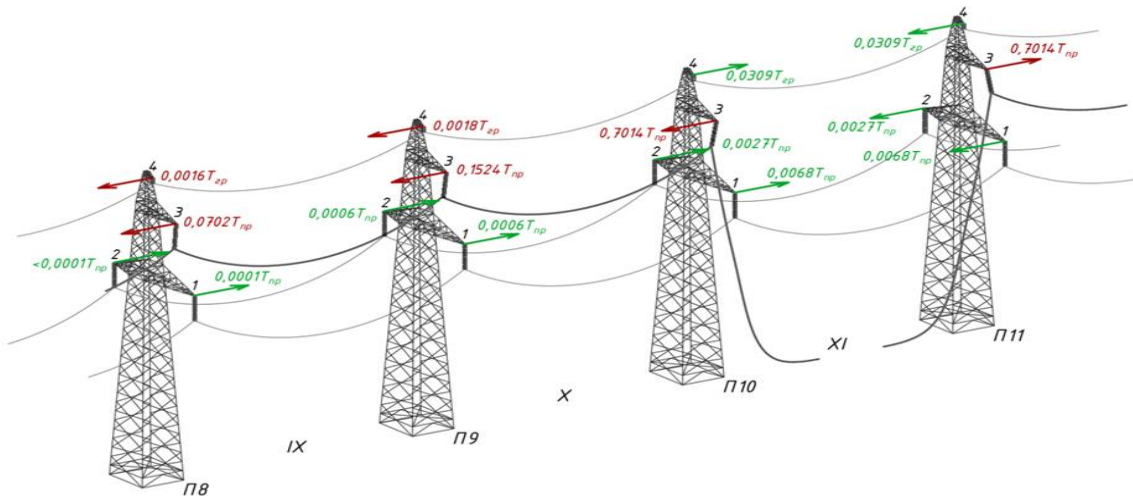


Рисунок 18 - Действующие расчетные усилия на опоры после обрыва верхнего провода №3 в пролете относительно усилия в проводе до разрыва T_{np} , в ВСС с промежуточными опорами новой унификации

12. Временные быстровозводимые опоры для ВЛ 35-500 кВ [1-2]

По требованиям п.п. 8.3.1.18 действующего Положения «О Технической политике ПАО «ФСК ЕЭС» 2024 года» [1] «с целью максимального сокращения продолжительности аварийно-восстановительных работ (АВР) предусмотрено использование специальных быстромонтируемых опор (БМО) в комплекте с фундаментом и изолирующей подвеской, многоразового использования, не требующих длительной сборки, несложных в монтаже и имеющих высокий мобилизационный коэффициент готовности (МКГ)» [2-4]. Такие опоры представлены в отраслевых нормах по проектированию и применению временных БМО для ВЛ 35-500 кВ, которые предполагают вертолетную доставку в контейнерах на место аварийного повреждения опор с последующей долговременной сборкой и монтажом-разворачиванием на трассе, причем доставка может быть осуществлена наземным транспортом. Однако, такие опоры БМО не могут быть отнесены к мобильным и передвижным опорам (МПО), т.к. имеют значительные затраты времени по причине трудоемкой и длительной доставки, сборки и монтажа на аварийном пикете ВЛ. Таким образом, МПО имеют самый высокий МКГ, что предполагает самое быстрое включение опор МПО непосредственно для функционирования в системе ВЛ вместо упавших и поврежденных опор.

1. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике» / Утв. Советом директоров ПАО «Россети» (протокол от 28.12.2024 № 673) – М.: ПАО «Россети». – 161 с. https://rosseti.ru/upload/docs/PETP_2024.pdf

2. Руководство по проектированию и применению временных быстровозводимых опор для ВЛ 35-500 кВ. СТО 34.01-21-006-2021 ПАО «Россети» / СТО 56947007-29.240.55.310-2021 / Филиал АО «НТЦ ФСК ЕЭС – СибНИИЭ / Утв. приказом ПАО «Россети» от 27.01.2021 № 20/26. – М.: ПАО «Россети». – 2021. – 41 с.

3. Методические указания по применению быстровозводимой и демонтируемой опоры типа ПБМ110-1(Т) на ВЛ 35-110 кВ. СТО 34.01-21-006.1-2021 / ПАО «Россети-Сибирь». – Том 1. - М.: ПАО «Россети». – 2021. 28 с.

4. Быстромонтируемые опоры для проведения аварийно-восстановительных работ на ВЛ 220-500 кВ. Технические требования. СТО СТО 34.01-21-006.2-2022 ПАО «Россети» / СТО 56947007-29.240.55.319-2022. – Том 2. - М.: ПАО «Россети». – 2022. – 32 с. [Downloads/b0z07gatpq3psnqb8ciu2cq7f9me01oz.pdf](https://www.rosseti.ru/downloads/b0z07gatpq3psnqb8ciu2cq7f9me01oz.pdf)

5. Без света вторые сутки. Что известно о массовом отключении электричества в Мурманске на 25 января 2026 года / <https://www.murmansk.kp.ru/daily/27753.5/5200913/>

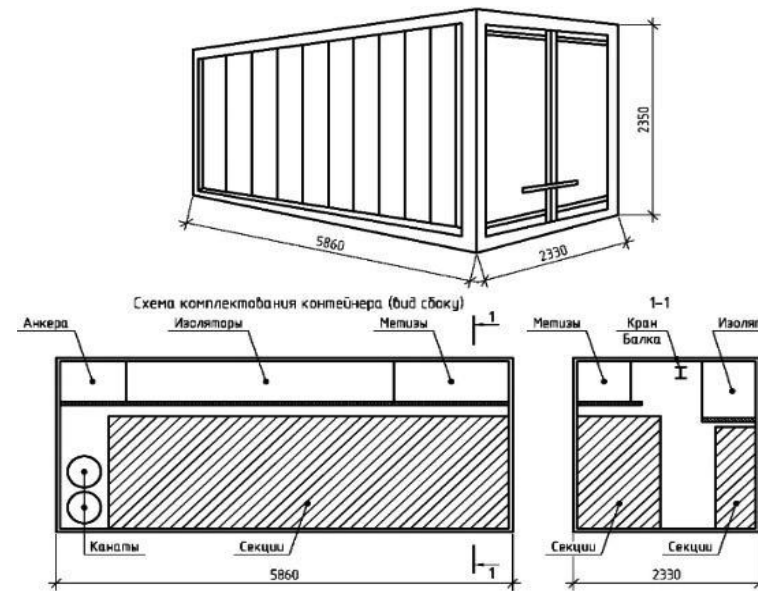
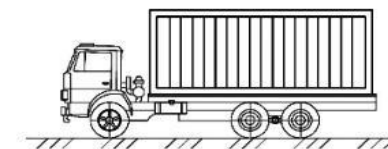
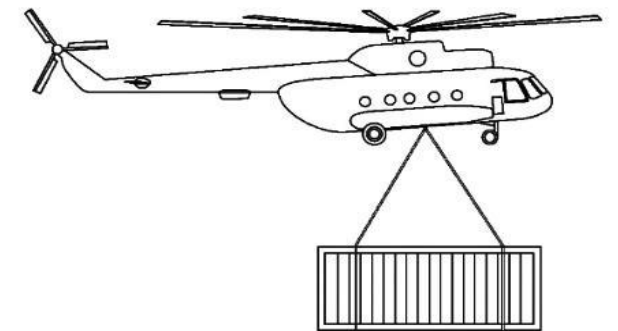
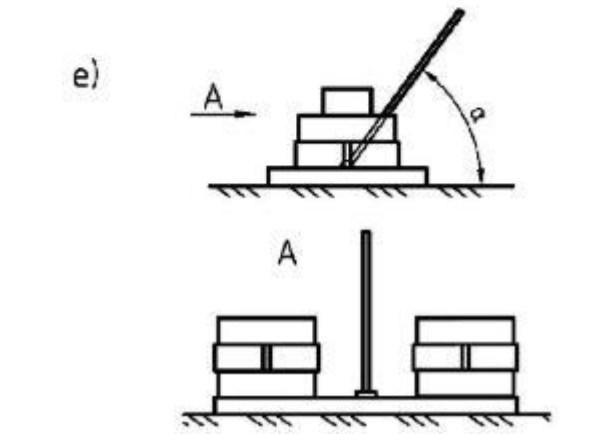
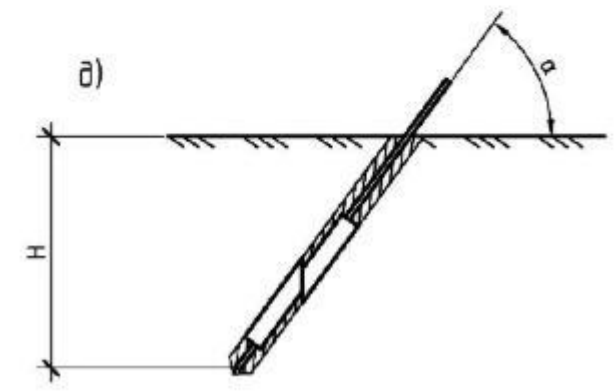
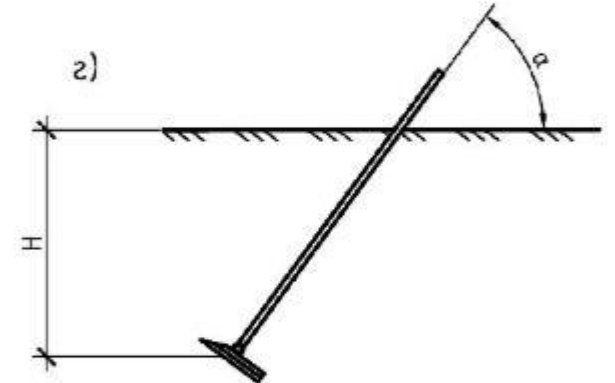
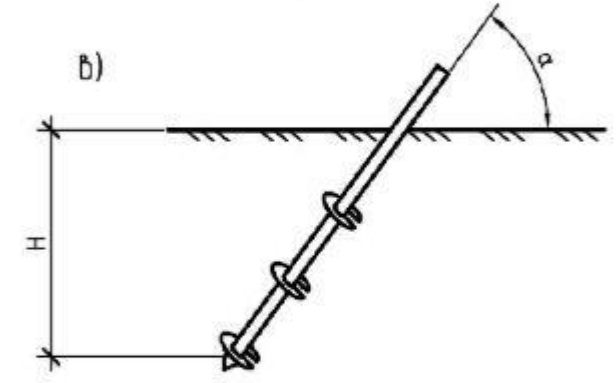
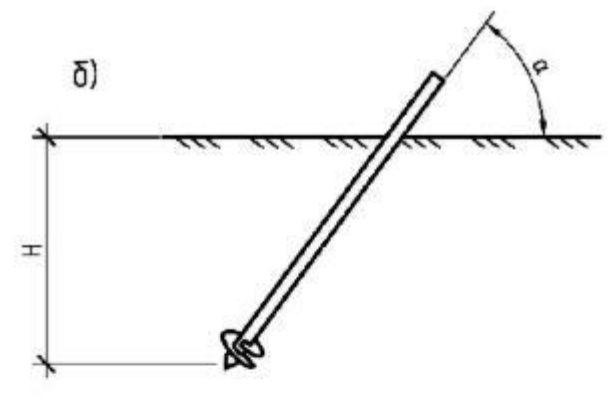
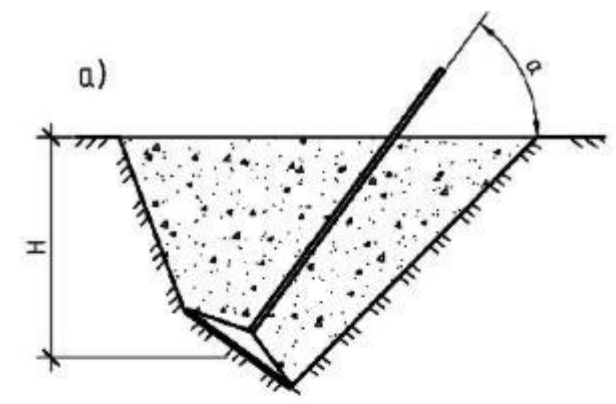
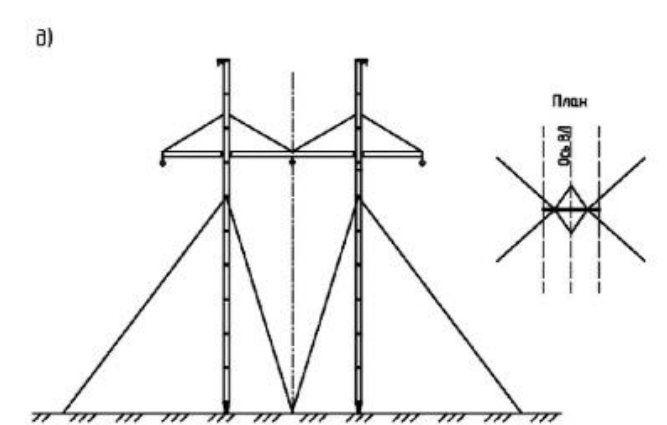
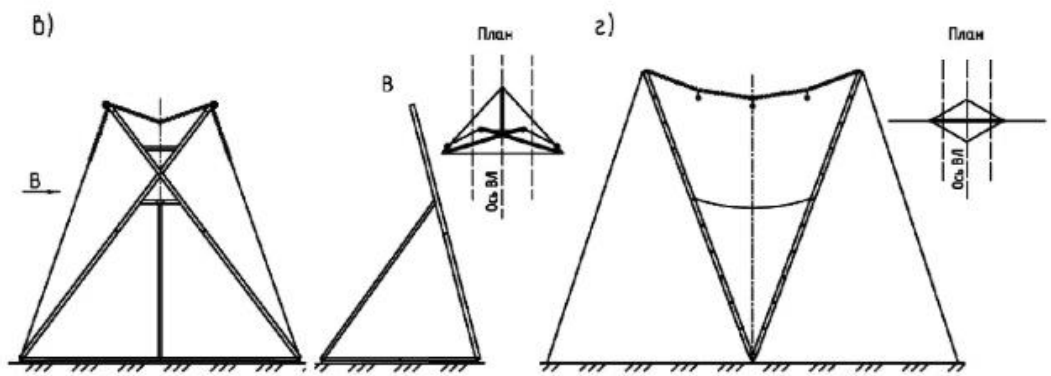
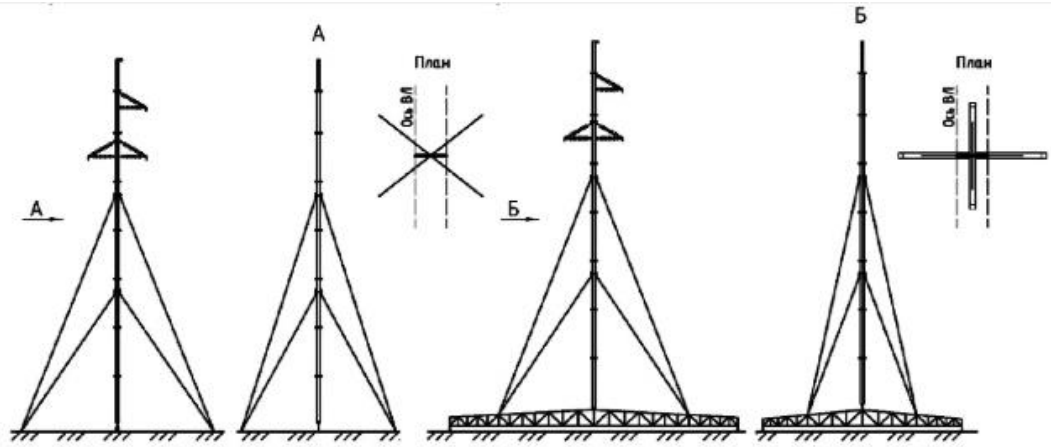


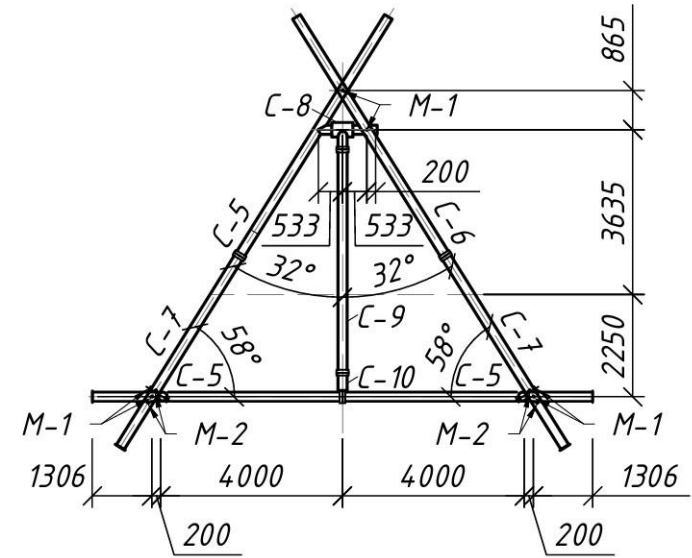
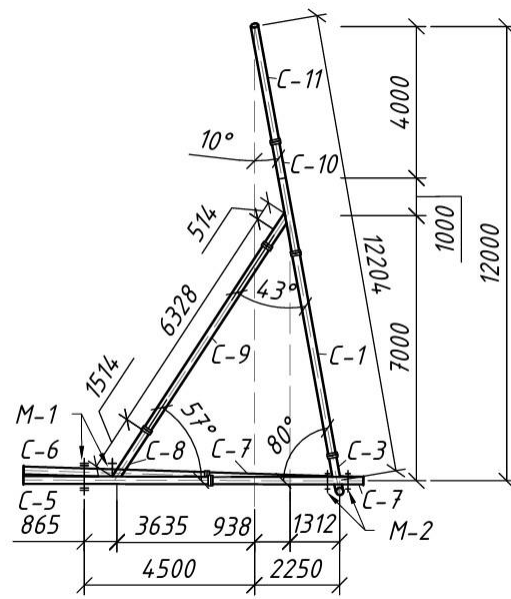
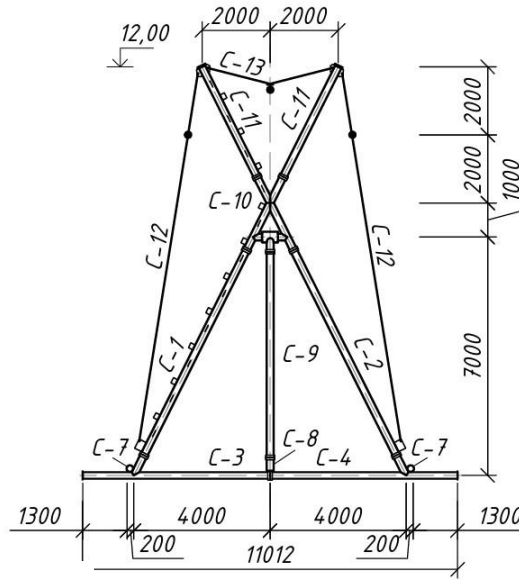
Рисунок 4.1 Пример хранения опоры



13. Временные быстровозводимые опоры для ВЛ 35-500 кВ: схемы и конструкции



14. Временные быстровозводимые опоры для ВЛ 35-500 кВ: разработки для 110 кВ



15. Временные быстровозводимые опоры для ВЛ 35-500 кВ: разработки для ВЛ 220 кВ

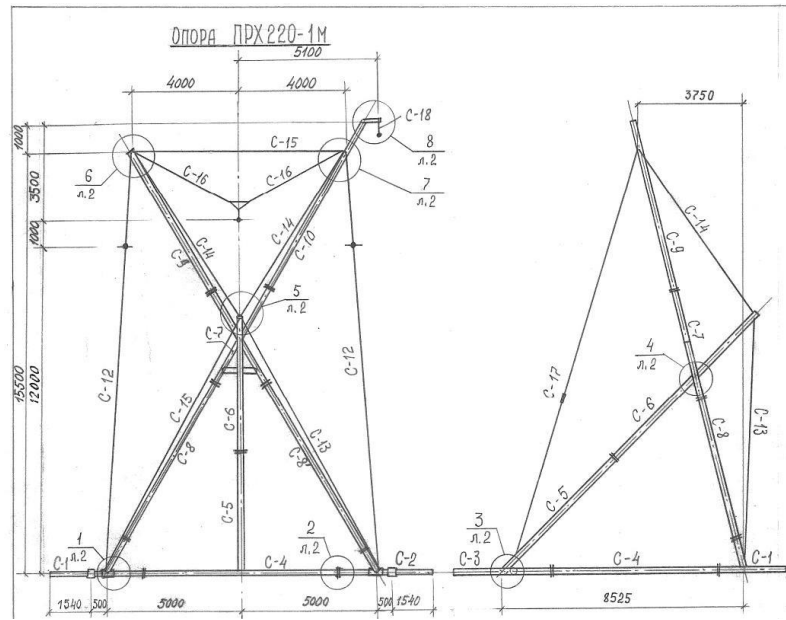
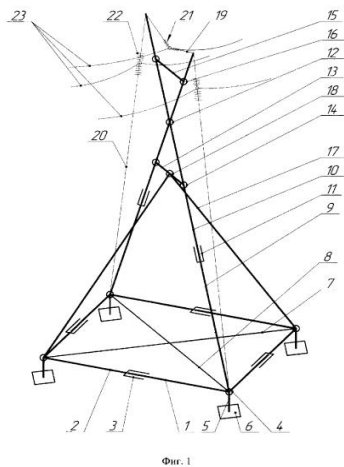


Таблица отработочных марок			
Наименов. марки	Масса одной марки, кг	Опора ПРХ 220-1М	Масса, кг
C-1	214,9(168,6)	1	214,9(168,6)
C-2	214,9(168,6)	1	214,9(168,6)
C-3	210,4(153,3)	1	210,4(153,3)
C-4	198,4(149,9)	3	595,2(449,9)
C-5	169,8(126,9)	1	169,8(126,9)
C-6	208,7(153,3)	1	208,7(153,3)
C-7	283,8(217,2)	1	283,8(217,2)
C-8	183,0(133,0)	1	183,0(133,0)
C-8'	178,0(122,0)	1	178,0(122,0)
C-9	200,2(155,7)	1	200,2(155,7)
C-10	245,2(183,3)	1	245,2(183,3)
C-11	4,0	2	8,0
C-12	38,4	2	76,8
C-13	57,4	2	114,8
C-14	42,6	2	85,2
C-15	49,0	1	49,0
C-16	69,1	1	69,1
C-17	158,5	1	158,5
C-18	9,0	1	9,0
Метизы			15,1
Итого на опору (м.к.):			
при трубе $\varnothing 159 \times 6$			
при трубе $\varnothing 159 \times 4$			
изоляция			
лш. арматура			
Общий вес:			

16. Пример использования двух ПРХ220-1М на ВЛ-258 в АЭК Комиэнерго в 2001 году

Таблица 1. График аварийно-восстановительных работ на ВЛ-258



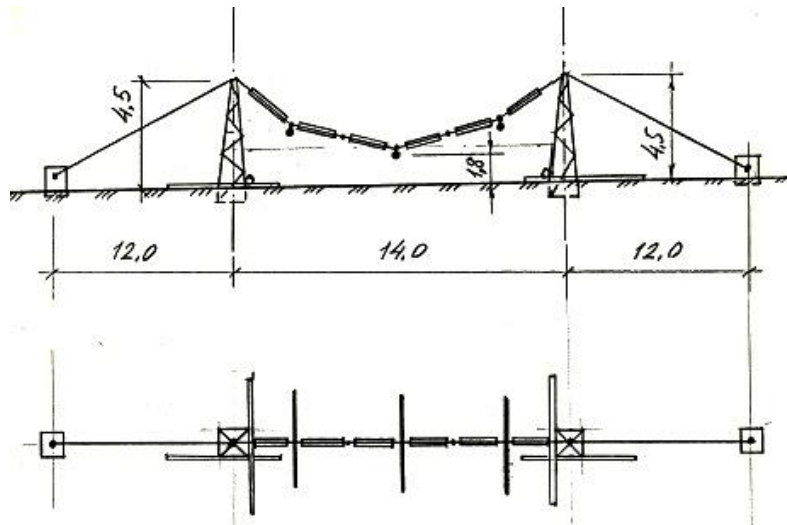
Рис. 7. Специальная резервно-аварийная опора ПРХ220-1М с тросостойкой, доставленная на аварийный пикет вертолетом МИ-6 из г.Печора за три часа (Северный Возей, 29.12.2001)



Этапы № п/п	События (работы)	Дата (дни, часы)																								Продолж. Час	При мечание		
		27.12.01				28.12.01				29.12.01				30.12.01				31.12.01				01.01.02							
		4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24	4	8	12	16	20	24			4	8
1. Поиск ав. пик. и прин. реш.		1																									127,5	1	
2																										3,3			
3																											2		
4																										5,0			
5																										2,5 (24,5)			
6																										0,5 (25,0)			
2. Подготовка площадки		1																									15,0	3	
2																										17,0			
3																										13,0	4		
3. Транспортные работы		1																										6	
2																										2+4,3	7		
3																											8		
4																											9		
5																													
6																													
7																											3		
4. Восстановление ВЛ-258		1																										7	
2																													
3																													
4																											10		

17. Сопоставление эпизодов применения ПРХ220-1М (РАО)

№ п/п	№ опоры / ВЛ	Даты и продолжительность, час					ВОК, РАО	Примечания
		отключения	включения	Поиск (12 ч)	Всего (120 ч)	Итого (120 ч)		
1	487/273	10.02.1991 13.02.1991	11.02.1991 13.02.1991	11:00	41 88,5	41 47	ВОК РАО	+ / +
2	615/273	11.07.1992	13.07.1992	4:41	32	32	РАО	+ / +
3	595/273	01.01.1995	07.01.1995	-	140	90	ВОК	- / -
4	096/258	27.12.2001	01.01.2002	25:10	137,5	137,5	РАО	- / -
5	302/273	14.09.2008	23.09.2008	-	207	-	ВОК	- / -
6	404/273	07.09.2009	17.09.2009	14:30	233	233	-	- / -



18. ПРИМЕРЫ (новости с сайта ОАО «ФСК ЕЭС»)



1. ЭЛЕКТРОМОНТЕРЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ МЭС СИБИРИ ОТРАБОТАЛИ ТЕХНОЛОГИЮ МОНТАЖА БЫСТРОВЗВОДИМОЙ ОПОРЫ

15.11.2012



Десять электромонтеров Барнаульского линейного участка службы линий Западно-Сибирского предприятия МЭС Сибири приняли участие в тренировке по отработке технологии монтажа быстровозводимой опоры. Новое оборудование отечественного производства поступило в аварийный резерв предприятия осенью текущего года.

Быстровозводимые опоры ПРХ220-1М разработаны как резервно - аварийные конструкции для оперативного восстановления воздушных линий 220 кВ. Принцип сборки – как у конструктора, что особенно удобно при транспортировке и работах в отдаленных и труднодоступных местностях. В готовом виде высота опоры составляет 16,5 метра, вес – около трех тонн.

– Это наш первый опыт сборки, поэтому работали не на скорость – главное качество, – говорит старший мастер Барнаульского линейного участка Владимир Белоусов. – Подробно изучили, из каких узлов состоит конструкция, как трубчатые секции соединяются. Однако по нашим расчетам на сборку и установку резервно - аварийной опоры уйдет, в зависимости от рельефа местности, не более двух-трех часов. Трудозатраты минимальны, для сборки опоры достаточно четырех-пяти человек. Общее впечатление: конструкция надежная, схема сборки несложная.

В ходе практической тренировки, конструкцию опоры в разобранном виде вывезли на подготовленную площадку на автомашине «Урал». В рабочее положение собранная на земле опора поднималась автокраном и пригружалась двумя бетонными блоками весом более тонны каждый.

Сегодня в аварийном резерве Западно-Сибирского предприятия МЭС Сибири – две быстровозводимые опоры. Эти конструкции позволят при необходимости существенно сократить время восстановительных работ на воздушных линиях 220 кВ и оперативно вернуть потребителям энергоснабжение.

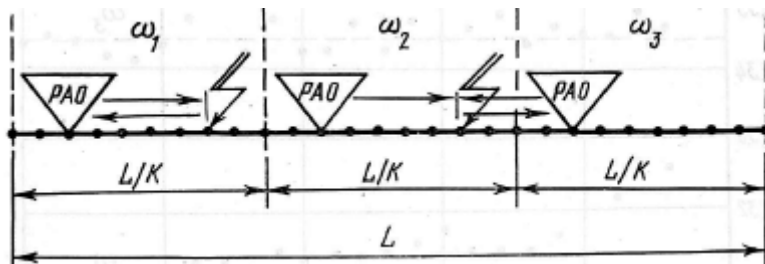


Сборка и монтаж опоры ПРХ220-1М

19. ВВЕДЕНИЕ (сайт ОАО «ФСК ЕЭС»)



На сайте ОАО «ФСК ЕЭС» в разделе «Новости» 16.10.2013 по плану тренировки в 03:00 от штормового ветра отключились ВЛ 220 кВ «Кирилловская-Холмогорская» и «Когалым-Холмогорская» по причине падения промежуточной опоры с повреждением провода и грозозащитного троса на этих линиях. В 03:57 на территории Ямало-Ненецкого ПМЭС введен особый режим работы. После сбора оперативных штабов Ямало-Ненецкого и Центрального ПМЭС принимается решение выполнить монтаж временного выноса на ВЛ 220 кВ «Кирилловская-Холмогорская». Для этого на место проведения АВР необходимо доставить три резервные мобильные опоры. Тренировка проводилась в реальном масштабе времени с условными действиями оперативного персонала и фактическими выездами ремонтных бригад для осмотра ВЛ и обнаружении места повреждения – производилась погрузка и доставка такелажа, спецтехники, материалов из аварийного резерва. Было задействовано более 20 человек ремонтного персонала и 8 единиц спецтехники. В 2013 году МЭС Западной Сибири приобрели 10 таких опор по 5 на Центральный и Восточный ПМЭСы.



На рис.: оптимальное перемещение РАО по длине трассы ВЛ (РАО следует оставлять на пикете аварии после замены на нормальную опору) [7]

20. Опора 2ХЗ30-1 и сбрасываемый фундамент

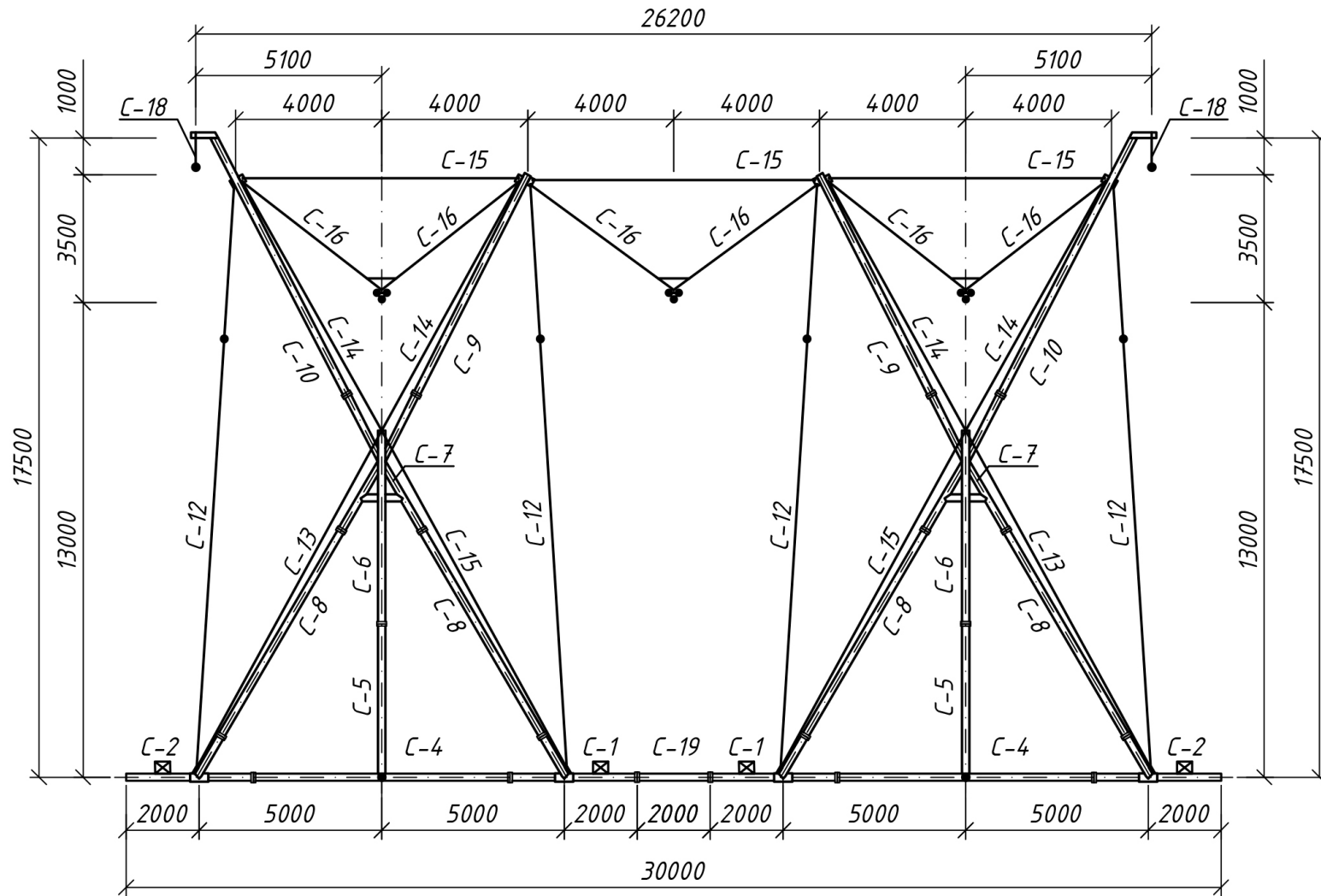


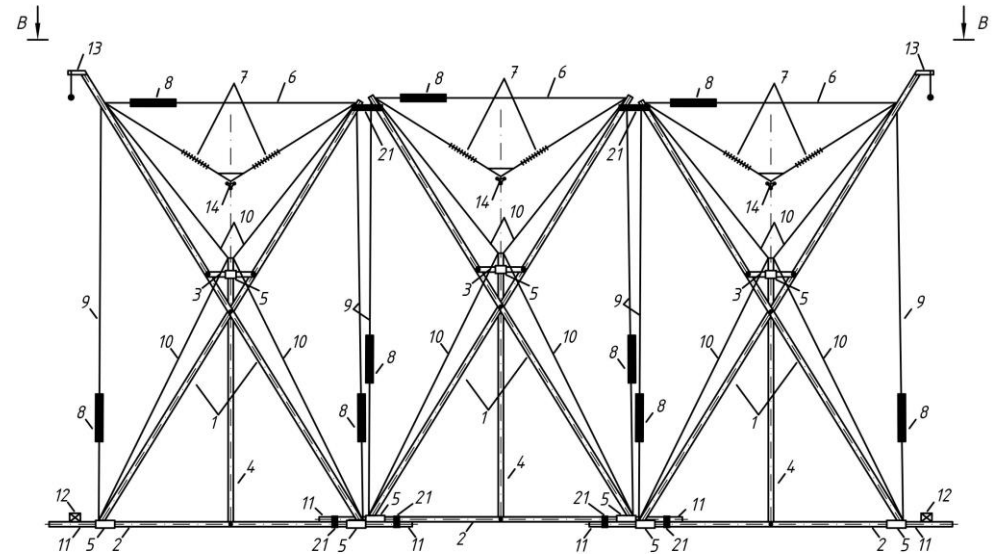
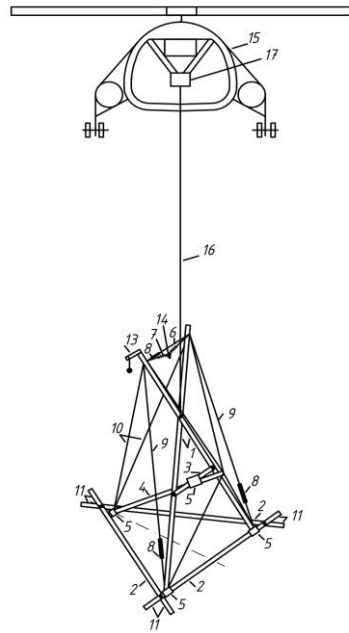
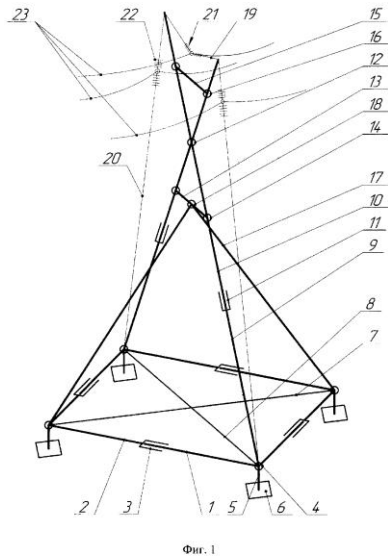
Рис.8. Испытания полового фундамента стойки ВЛ-220 кВ, сбрасываемого с заданной высоты (Сургут, 1992)

21. Мобильные быстровозводимые опоры для ВЛ 110-500 кВ

ПОЛОЖЕНИЕ ПАО «Россети» «О единой технической политике» (2024):

пп. 8.3.1.18 Для проведения аварийно-восстановительных работ на ВЛ до 500 кВ включительно необходимо предусматривать применение специальных быстровозводимых опор, в том числе многоразового использования, мобильного комплекта быстровозводимых опор в комплекте с фундаментом и изолирующей подвеской, в том числе многогранных и композитных опор, не требующих длительной сборки и несложных в монтаже, имеющих высокий мобилизационный коэффициент готовности, с целью максимального сокращения времени ликвидации аварийного режима.

1 вариант: патент RU 2781646 (2022). **2 вариант:** патент SU 1416647 (1986); заявка на патент (11.06.2026) Сенькин Н.А. Савин И.И. и др. Сенькин Н.А., Косолапов М.Д. и др.



Мобилизационный коэффициент готовности $K_{гм} = T_i / T_{см}$ 22

22. Выводы: ПО-1, ПО-2, обеспечение живучести конструкций ВЛ

1. Реальные примеры аварий показывают, что аварийные повреждения конструкций, включая падение опор воздушных линий электропередачи, отвечают действительной работе конструкций и могут привести к наступлению ПО.

2. Для модели прогрессирующего обрушения ПО-1 с неопределенным сценарием обеспечения живучести (работоспособности) ВЛ следует выполнить посредством обеспечения живучести или неразрушения вторичной схемы за счет устройства дополнительных раскрепляющих элементов, например горизонтальных диафрагм, ограничивающих расчетные длины раскосов и поясов в нижней части конструкции опоры, либо за счет увеличения сечений рабочих элементов. Подтверждено, что два рода прогрессирующего обрушения имеют последовательный характер: сначала наступает прогрессирующее обрушение первого рода ПО-1, вызванного внешним воздействием, разрушающим опору, а затем ее падение может привести к прогрессирующему обрушению второго рода ПО-2 с аварийными повреждениями и падениями соседних опор.

3. Для проектирования ВЛ на воздействия ПО-2 разработан новый полный аварийный режим, включающий пять расчетных подрежимов с расчетами опор на: 1 – обрыв проводов, 2 – обрыв грозозащитных тросов, 3 – падение промежуточной опоры, 4 - обрыв гирлянды изоляторов проводов, 5 – обрыв гирлянды изоляторов грозозащитных тросов.

4. Предложены варианты обеспечения живучести конструкций ВЛ, препятствующие разрушению опор на границе аварийного пролета и далее посредством снижения дополнительных усилий в грозотросе и проводах за счет разработки:

- 1) специальных поддерживающих зажимов с возможностью продергивания в них проводов и тросов без разрушения токопроводящих алюминиевых повивов;
- 2) применение защитных стальных спиральных зажимов для защиты алюминиевых повивов от повреждения с укладкой в поддерживающий зажим большего типоразмера;
- 3) конструкции подвески проводов и тросов с возможностью ее разрушения;
- 4) усиления критических элементов конструкций опор на стадии проектирования.

5. Рассмотрены и разработаны варианты специальных мобильных опор для экстренного восстановления ВЛ 110-500 кВ



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!