



Центр инжиниринга
и управления строительством



Единой
Энергетической Системы

Федеральная
Сетевая Компания



Единой
Энергетической Системы



МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

**VIII Международная научно-практическая конференция
«ОПОРЫ И ФУНДАМЕНТЫ ВЛ:
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА»
5-7 июля 2023 года, Санкт-Петербург, Отель Амбассадор**

ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОПОР В ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ВЛ



СЕНЬКИН Николай Александрович

**к.т.н., главный эксперт Дирекции по капитальному строительству АО
«НТЦ Россети ФСК ЕЭС» ПАО «РОССЕТИ», доцент кафедры МДК СПбГАСУ**

Кафедра Металлических и деревянных конструкций (МДК)



**САНКТ - ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Магистры: ФИЛИМОНОВ А.С., ВАСИЛЬЕВ В.С.

senkin1952@yandex.ru, +79214348738)

Санкт-Петербург – 2023

1. ВВЕДЕНИЕ



Рис. 1. Фотографии эксплуатируемых (1987) и строящейся (2022) ВЛ 220 кВ параллельного следования

2. ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА КОНСТРУКЦИЙ ПРОМЗДАНИЙ (I)

Профессор Н.С. Стрелецкий, основатель методики расчета стальных конструкций по предельным состояниям, в статье «К вопросу о значении рабочих методов в расчете конструкции (1960)» предопределил грядущие перемены в инженерном проектировании: «... **применение счетно-вычислительных машин уничтожит рабочие методы, поскольку трудоемкость точных расчетов будет изжита**». В настоящее время наступила эра точного адресного или индивидуального проектирования строительных объектов, когда наличие базы для современных расчетов позволяет выполнять расчеты и проектирование конструкций с учетом дополнительных факторов действительной работы, которые ранее отсутствовали в действующих нормативных документах (рабочих методах).

Профессор Г.А. Шапиро в книге «Действительная работа стальных конструкций промышленных цехов» (1952): «Под термином **“действительная схема сооружения” (ДР)** понимается расчетная схема, которая выявляется в процессе исследования работы сооружения. Для отыскания такой схемы приходится вводить в расчет не учтенные ранее конструктивные элементы, учитывать осадку опор, пространственную работу сооружения в целом и его отдельных элементов, уточнять условную геометрическую схему и сечения элементов, принимать более точные значения нагрузок, их динамику и распределение».

В СП16.13330.2017 «Стальные конструкции» определяет, «в расчетных схемах должны быть учтены деформационные характеристики опорных закреплений, оснований и фундаментов (п. 4.2.1). Расчетные схемы и основные предпосылки расчета должны отражать **действительные условия работы** стальных конструкций (п. 4.2.4)». Таким образом, «действительная работа» отражает уточненные расчетные схемы и расчетные предпосылки, которые усовершенствуют основные расчетные модели, приведенные в действующих нормах, в целях обеспечения большей прочности, жесткости и надежности конструкций.

3. ДЕЙСТВИТЕЛЬНАЯ РАБОТА КОНСТРУКЦИЙ И ЭЛЕМЕНТОВ ВЛ (I)

Действительная работа конструкций и элементов ВЛ на стадии строительства



Рис. 2. Дефекты и повреждения конструкций, фундаментов и грунтового основания на стадии возведения сооружения ВЛ (неравномерные вертикальные и горизонтальные перемещения фундаментов, неплотное опирание башмаков на фундаменты, погиби элементов, незатянутые гайки, отклонение оси опоры от вертикали, дефицит оцинковки ...)

4. Факторы действительной работы стальных конструкций опор ВЛ

Дифференциация по природе возникновения:

1. Факторы внутренние определяют характер расчетной схемы конструкции:

- 1) эксцентриситеты в узлах сопряжения элементов в зависимости от вида примыкания элементов решетки к поясам;
- 2) податливость болтовых соединений в узлах;
- 3) Точность сборки, отклонения оси опор от вертикали;
- 4) вертикальные и горизонтальные перемещения фундаментов, их неравномерная осадка;
- 5) дефекты и повреждения элементов, аварийность.

2. Факторы внешние (нагрузки и воздействия):

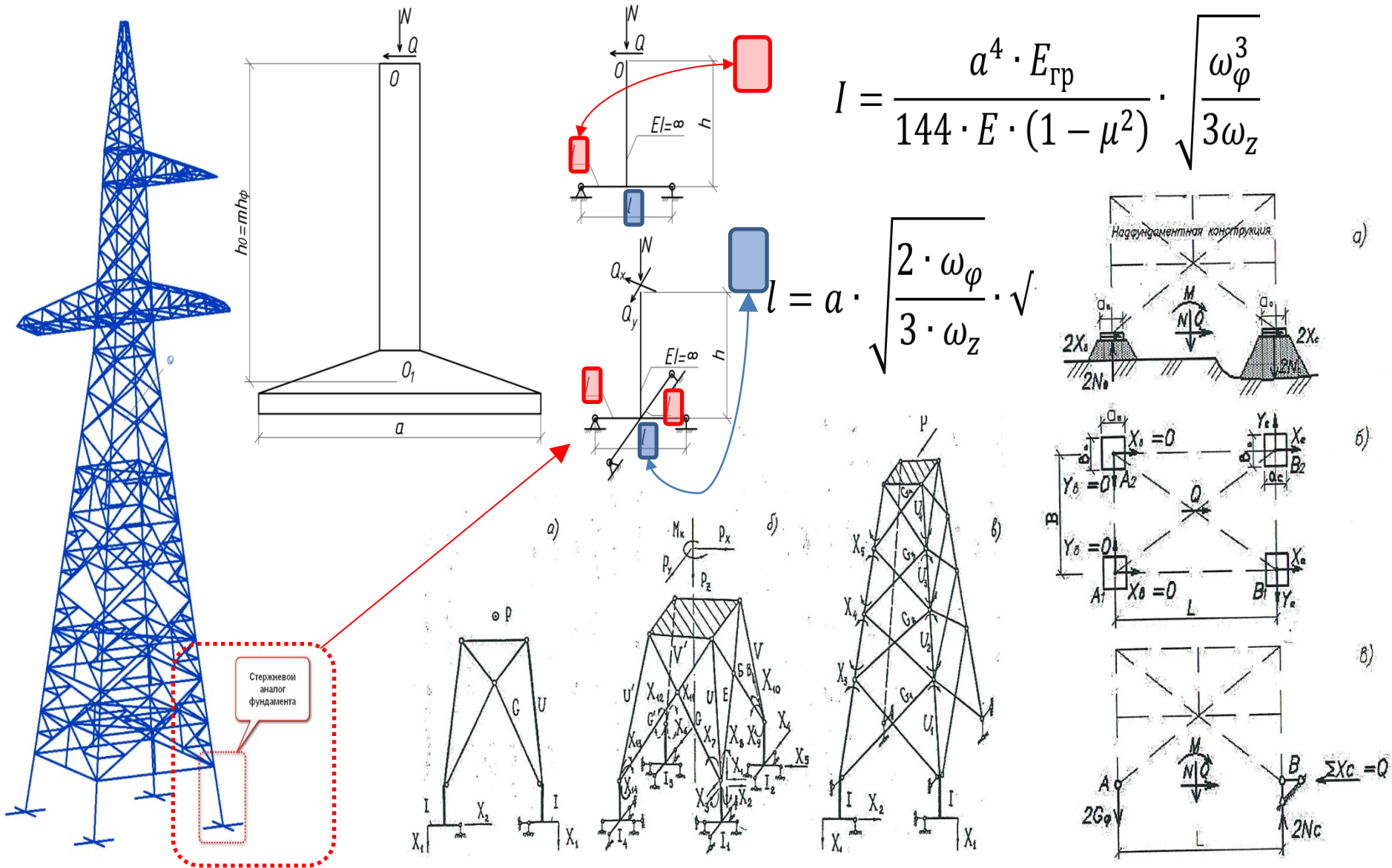
- 1) коррозионный износ стали;
- 2) динамические эффекты при действии ветровых и гололедных нагрузок;
- 3) аварийные повреждения элементов и конструкций, динамический удар при внезапном удалении элемента из конструкции, прогрессирующее обрушение;
- 4) аварийные режимы при внезапном обрыве проводов и тросов;
- 5) вероятностно-статистических значения нагрузок и воздействий.

3. Факторы общие совместные:

- 1) совместная работа конструкций и основания (единая расчетная стержневая модель);
- 2) совместная работа опор в механической системе воздушной линии электропередачи;
- 3) обеспечение требуемой надежности механической системы ВЛ посредством взаимодействия основных и резервных элементов (регулирование надежности посредством изменения структуры).

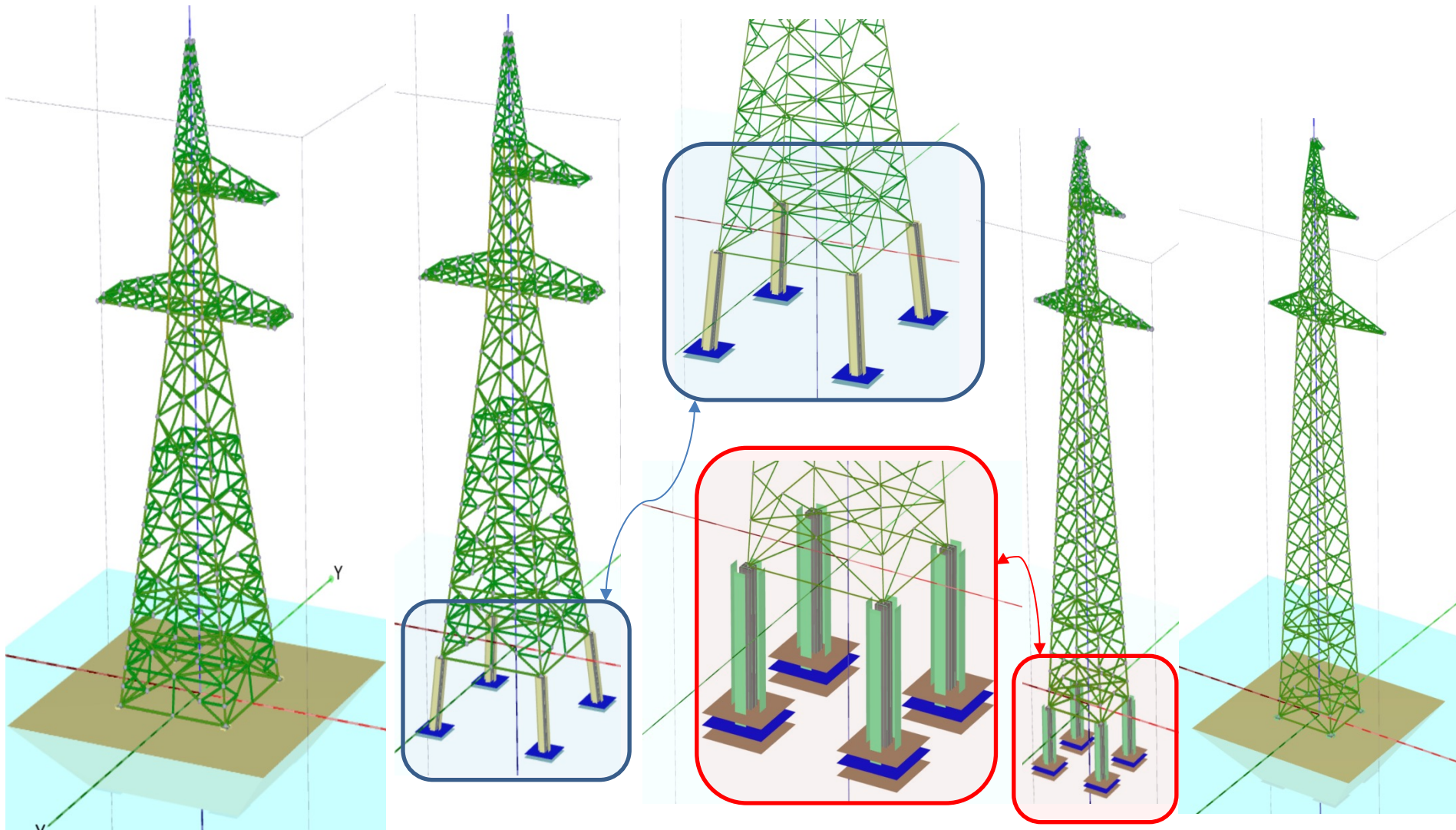
5. Совместная работа конструкций и основания:

Метод стержневого аналога



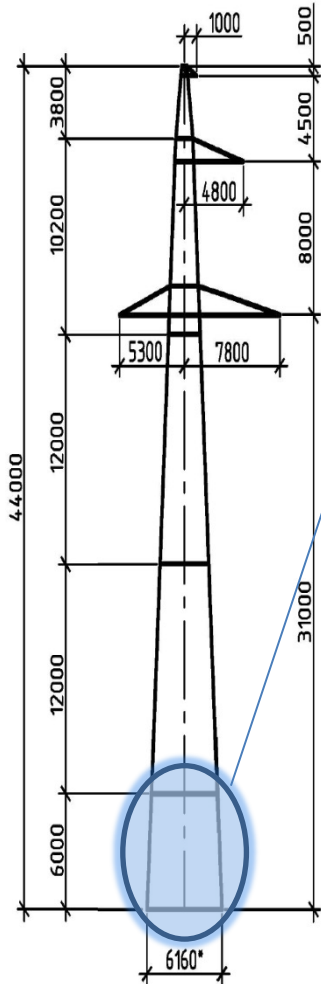
Стержневой аналог фундамента

5. Полное моделирования системы «конструкция-фундамент-основание» в Plaxis

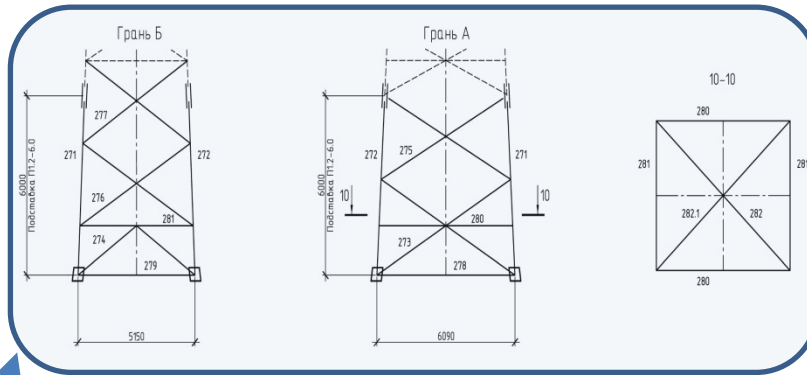


5. Объект исследования

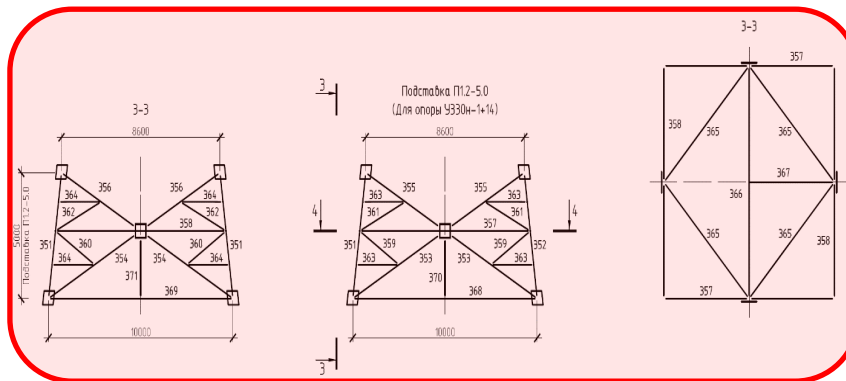
Промежуточная
опора ПЗ30Н-
1+6.0



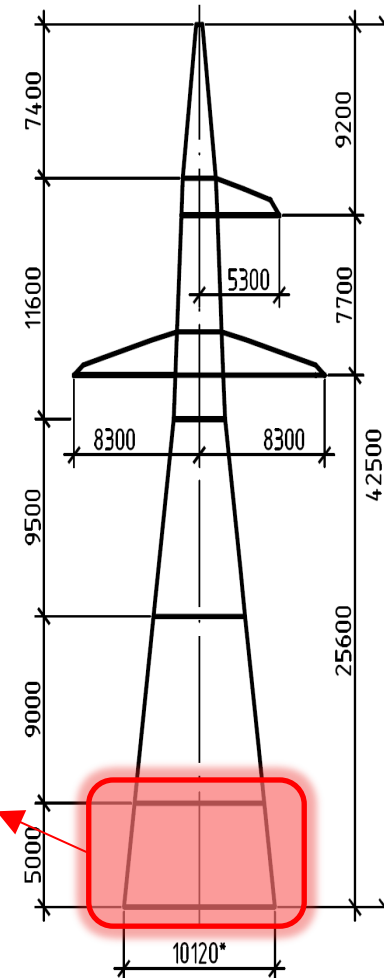
Подставка П1.2-6.0



Подставка
П1.2-5.0



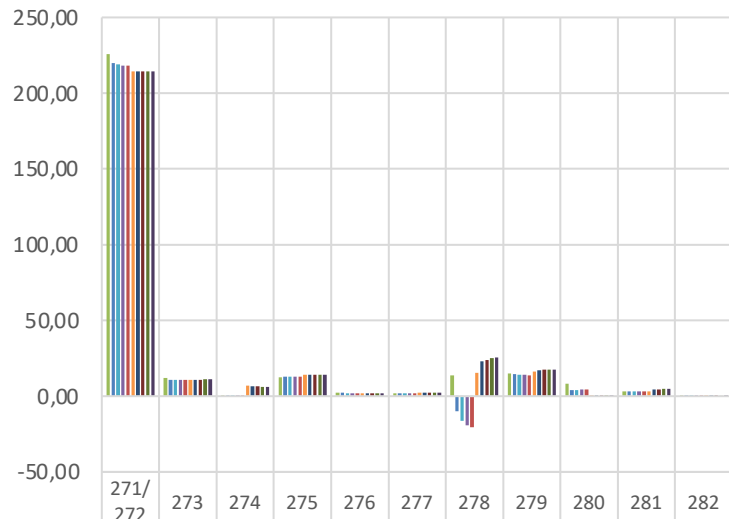
Анкерно-угловая
опора УЗ30Н-1+14



5. Промежуточная опора

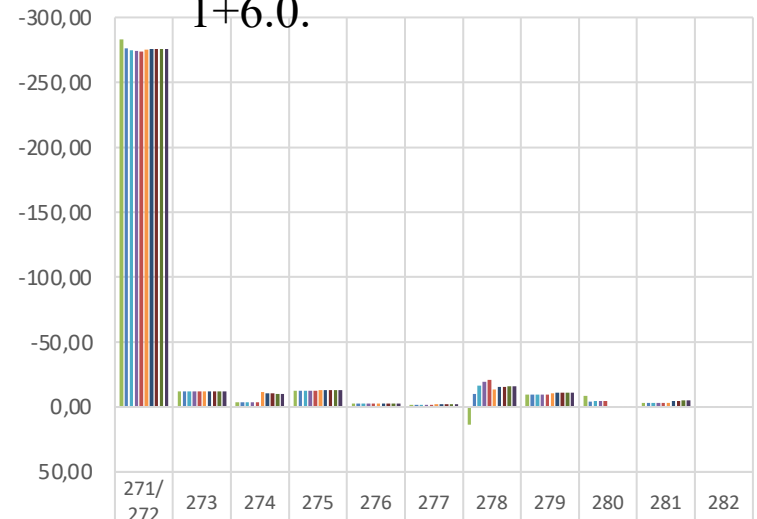
Сравнение по модулю деформации

Растягивающие (максимальные с учетом знака) усилия в элементах подставки П1.2-6.0 опоры ПЗ30Н-1+6.0.



	271/ 272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282
■ Ли́ра. 10 МПа	225,68	11,86	0,47	12,61	2,16	1,91	13,71	15,02	8,44	3,32	0,03
■ Ли́ра. 50 МПа	220,03	10,81	0,40	12,70	2,11	1,87	-9,92	14,51	4,04	3,27	0,02
■ Ли́ра. 100 МПа	218,86	10,66	0,39	12,73	2,10	1,86	-16,46	14,20	4,18	3,25	0,02
■ Ли́ра. 150 МПа	218,40	10,61	0,39	12,75	2,09	1,85	-19,19	13,94	4,34	3,23	0,02
■ Ли́ра. 200 МПа	218,16	10,59	0,38	12,76	2,09	1,85	-20,69	13,70	4,44	3,23	0,02
■ Плакисис. 10 МПа	214,49	10,8	7,14	14,16	1,82	2,49	15,48	16,05	0,47	3,26	0,1
■ Плакисис. 50 МПа	214,41	10,96	6,48	14,1	1,81	2,48	22,94	17,23	0,34	4,42	0,02
■ Плакисис. 100 МПа	214,35	10,97	6,38	14,08	1,8	2,48	23,98	17,5	0,34	4,57	0,02
■ Плакисис. 150 МПа	214,36	11	6,28	14,07	1,8	2,47	24,97	17,6	0,35	4,75	-0,01
■ Плакисис. 200 МПа	214,36	11,01	6,24	14,06	1,8	2,48	25,58	17,63	0,34	4,85	0,02

Сжимающие (минимальные с учетом знака) усилия в элементах подставки П1.2 6.0 опоры ПЗ30Н-1+6.0.



	271/ 272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282
■ Ли́ра. 10 МПа	-283,2	-12,17	-3,89	-12,71	-2,88	-1,57	13,70	-9,79	-8,51	-3,07	-0,02
■ Ли́ра. 50 МПа	-275,9	-11,91	-3,81	-12,64	-2,81	-1,53	-9,95	-9,53	-4,30	-3,02	-0,03
■ Ли́ра. 100 МПа	-274,6	-11,98	-3,79	-12,64	-2,80	-1,53	-16,51	-9,46	-4,49	-3,00	-0,04
■ Ли́ра. 150 МПа	-274,1	-12,02	-3,79	-12,65	-2,79	-1,52	-19,25	-9,44	-4,67	-2,99	-0,04
■ Ли́ра. 200 МПа	-273,9	-12,05	-3,78	-12,66	-2,78	-1,52	-20,76	-9,43	-4,78	-2,99	-0,04
■ Плакисис. 10 МПа	-275,3	-11,97	-11,4	-13,16	-2,47	-1,99	-13,27	-10,6	-0,81	-3,2	-0,11
■ Плакисис. 50 МПа	-275,6	-12	-10,51	-13,18	-2,46	-1,98	-15,34	-10,8	-0,86	-4,61	-0,09
■ Плакисис. 100 МПа	-275,5	-12	-10,38	-13,18	-2,45	-1,97	-15,68	-10,88	-0,86	-4,81	-0,09
■ Плакисис. 150 МПа	-275,6	-12	-10,27	-13,18	-2,45	-1,96	-15,99	-11,01	-0,86	-5,02	-0,08
■ Плакисис. 200 МПа	-275,6	-12	-10,2	-13,19	-2,45	-1,97	-16,1	-11,09	-0,87	-5,12	-0,09

6. ДВА ВИДА ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ВЛ

Из опыта эксплуатации ВЛ известны два вида последовательно возникающих аварийных ситуации (стадии), которые следует отнести к прогрессирующему (лавинообразному) обрушению опор:

ПО-1 - локальное повреждение несущих конструкции опор, например, «вандалами» в результате незаконного снятия несущих элементов;

ПО-2 - массовое разрушение опор и фундаментов на участках воздушных линий, вызванное особыми аварийными нагрузками и ударами, преимущественно возникающими по причине сверхрасчетных природно-климатических воздействий, вследствие падения отдельных опор, например в результате ПО-1.

Для стальных решетчатых опор ВЛ причиной первого вида прогрессирующего (лавинообразного) обрушения конструкций ПО-1 предполагается аварийные воздействия по СП 20.133330.2016 «Нагрузки и воздействия» (п.3.8, п.5.6) в результате взрыва, пожара, землетрясения, вандализма, резкого нарушения технологического процесса, временной неисправности или поломкой оборудования (например, обрыв провода, грозотроса или оттяжки), деформациями основания с коренным изменением структуры грунта (оползни, морозное пучение), столкновения транспортных средств с частями сооружения, вследствие воздействия сверхрасчетных климатических нагрузок (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) и т.д. (рис.1-10).

Для второй аварийной ситуации ПО-2 наиболее подходящим является моделирование падения опор на основе "принципа домино" из теории катастроф, когда падение или разрыв «слабого звена» приводит к коллапсу всей системы.

7. ПО-1: ИЛЛЮСТРАЦИИ АВАРИЙНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ



Рис. 3. Терроризм: порталная опора 750 кВ типа «Набла» со стойками, поврежденными взрывом (Ленобласть, 01.05.2023, фото А.Д.Дрозденко)



Рис. 4. Вандализм: опора ВЛ220 кВ со снятыми раскосами по высоте двух панелей пояса (Владимирская область, 2018, фото автора)



Рис. 5. Вандализм: опора ВЛ220 кВ со снятыми поясами и раскосами по высоте панели пояса (Ленобласть, 2018, фото автора)

7. ПО-1: Учет прогрессирующего обрушения при проектировании решетчатых конструкций стальных опор ВЛ

Рис.6 Конструкции опор ВЛ220кВ: предаварийное состояние (Бишкек, 2021); гололедно-ветровая авария в Подмоскowie (2020)



Рис.7 Опора 330кВ: схема, удаляемые опорные элементы одной группы (пунктир), схема приложения динамического усилия с ударом и установленная диафрагма

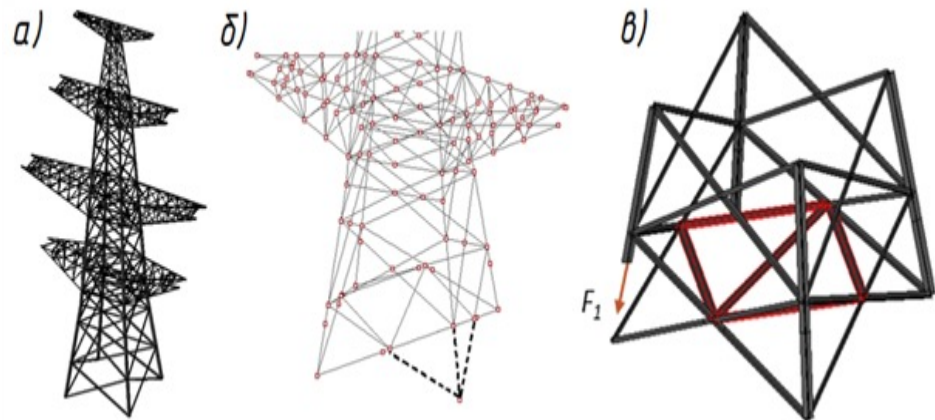
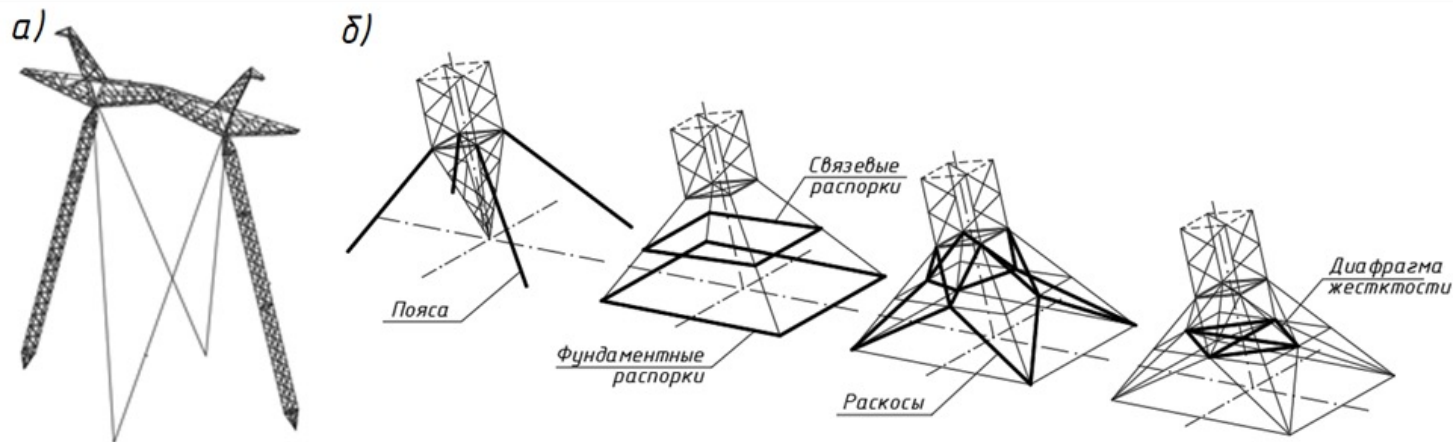


Рис. 8. Аварийное повреждение опоры ВЛ 500 (220) кВ от оползня



Рис.9 Конструкция опоры ВЛ750кВ на оттяжках: вариант шарнирного опирания опоры, процесс конструирования жесткой пяты



7. ПО-1. Динамический удар при внезапном удалении элемента из конструкции опоры ВЛ

Рис.1 Поврежденные решетчатые и анкерно-угловая стальные опоры ВЛ110кВ со срезанными и снятыми раскосами, восстановление конструктивной целостности анкерно-угловой опоры (2020)



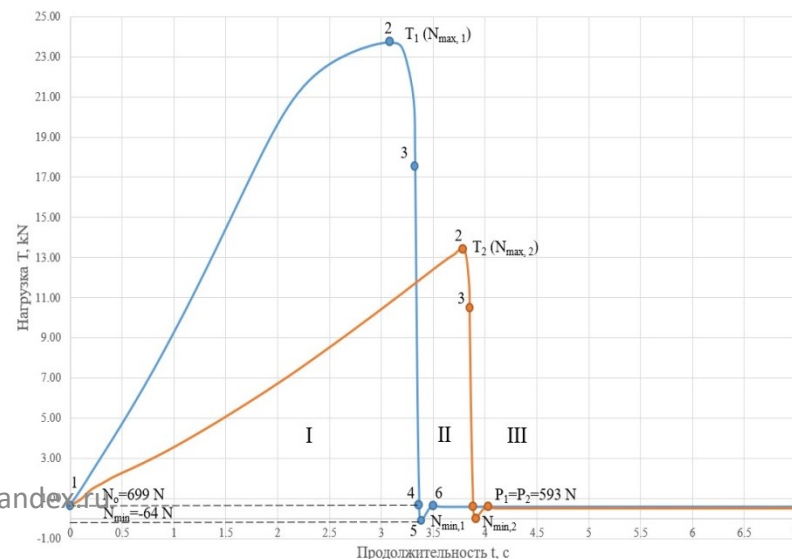
Рис.2 Модельные испытания стержня



Табл. Экспериментальные усилия в стержне от нагрузки P и T

№ исп ыта ния	Параметры		Испытательные усилия в стержне с периодичностью 0,1 с, Н								
	P, кг	δ, мм	N ₀	N _{max} (T)	N _{min}	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
1	39,3	2,0	414	9731	315	537	523	524	523	522	523
2	59,3	1,5	670	13378	100	534	520	520	519	519	519
3	54,3	1,0	459	21240	378	536	522	523	525	527	525
4	54,3	0,5	516	23644	155	567	525	516	520	521	527
5	59,3	0,5	699	23718	-64	576	582	578	581	580	585

Рис.3 Совмещенный график зависимости нагрузки от времени



8. ТРЕБОВАНИЯ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» №384-ФЗ от 30.12.2009 (п.6 Ст.16) и ГОСТ 27751-2014 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения» и требуют при проектировании здания или сооружения повышенного уровня ответственности учитывать аварийные ситуации, приводящие к предельным состояниям, возникающим при взрыве, столкновении, аварии, пожаре, а также после отказа одной из несущих конструкций.

СП 296.1325800.2017 «Здания и сооружения. Особые воздействия» устанавливает аналогичные требования по учету особых нагрузок и воздействий при ЗИС классов КС-2 и КС-3 и по обеспечению надежности строительных конструкций (СК) и оснований при аварийных ситуациях природного, техногенного и антропогенного характера в соответствии с ГОСТ 27751. СП296 определяет аварийные нагрузки как особые нагрузки и воздействия, которые могут привести к аварийной расчетной ситуации. Действие аварийных особых воздействий и нагрузок (АОН) учитывается расчетом сооружений на ПО. Действие АОН допускается не учитывать, если выполнен расчет сооружения на действие проектных (нормируемых) особых воздействий, указанных в нормативных документах и задании на проектирование, например при взрыве либо ударе (п.7-8).

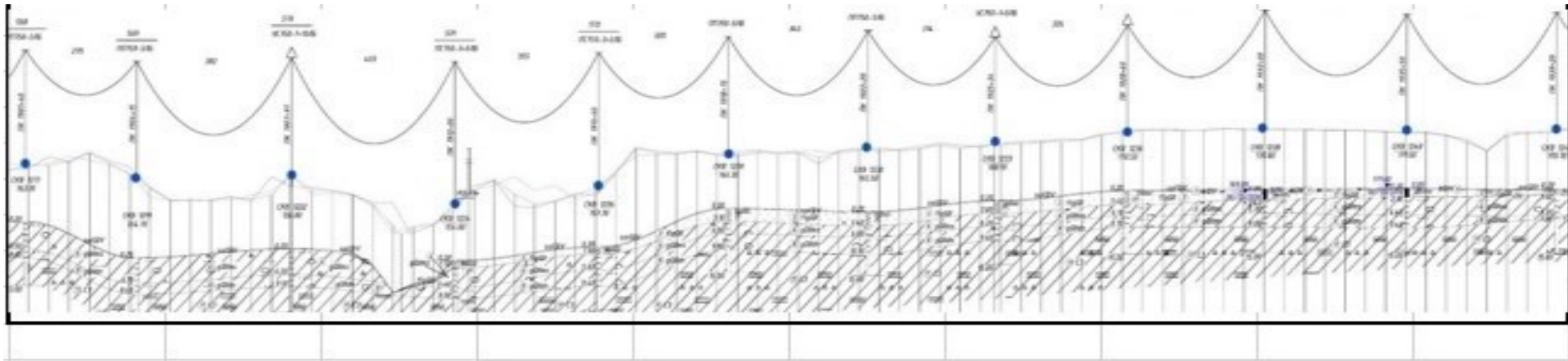
Согласно п. 2.5.142 ПУЭ-7 изд. «в расчетах допускается учитывать поддерживающее действие необорванных проводов и тросов при среднегодовой температуре без гололеда и ветра. При этом расчетные условные нагрузки следует определять как в п. 1 настоящего параграфа, а механические напряжения, возникающие в поддерживающих проводах и тросах, не должны превышать 70 % их разрывного усилия.

9. ПО-2: БОЛЬШАЯ АВАРИЯ НА ВЛ 750 кВ. ПАДЕНИЕ 12 ОПОР

ВЛ 750 кВ «Курская АЭС – Новобрянская», 207 км, 1979. 12 опор П750-1. $q_0=55\text{кг/м}^2$. Брянский ПМЭС (125,82км). 28.04.2013. 8 дней. на участке 7 км. Причем упали только промежуточные опоры двумя группами: в одной 8 опор (№№ 272-279), а в другой - 4 опоры (№№ 283-286), а между ними остались неповрежденными три промежуточные опоры (№№ 280-282). Провода марки АС240/56, грозотросы (АС70/72 и С-70) и оттяжки не были порваны, но провода при целых сердечниках имели повреждения алюминиевых повивов («фонари») по причине проскальзывания в поддерживающих зажимах – лодочках 5ПГН2-5-4.



10. ПО-2: Расстановка опор по профилю. Интерполяционные и степенные аппроксимирующие полиномы для функций линий рельефа (длина 3,8 км)



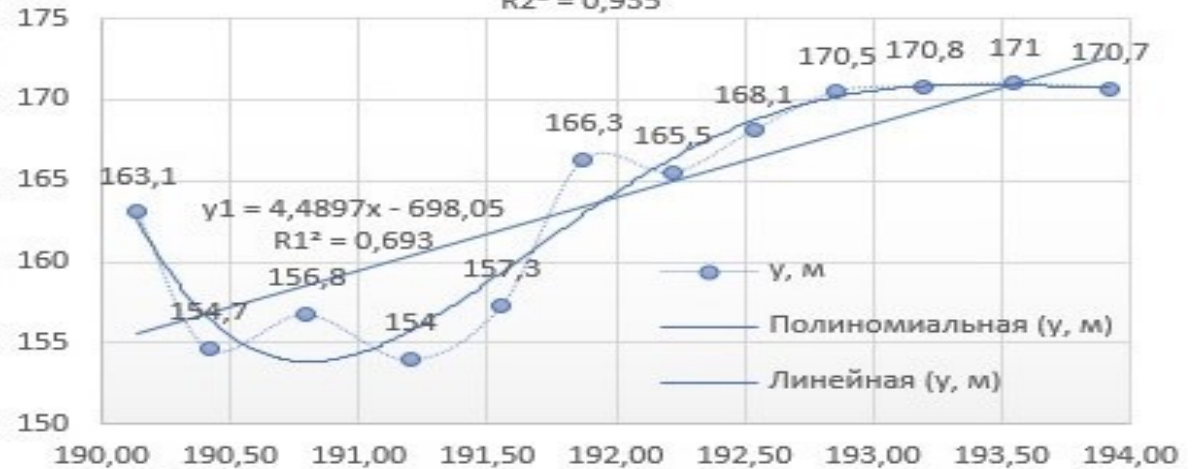
Точки рельефа (x,y) и графики функций

x, км	y, м
190,14	163,1
190,415	154,7
190,797	156,8
191,2	154
191,555	157,3
191,875	166,3
192,22	165,5
192,534	168,1
192,86	170,5
193,2	170,8
193,55	171
193,92	170,7

Вертикальная отметка (y), м

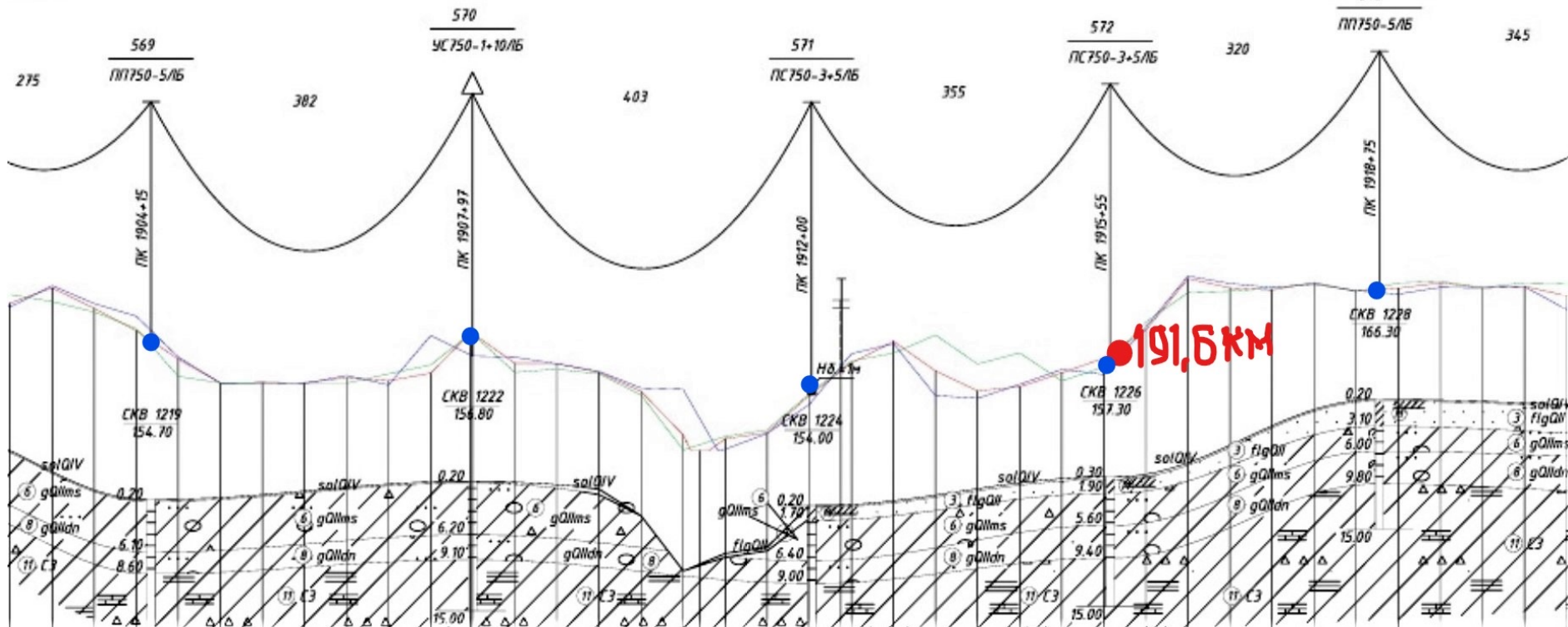
$$y_2 = -0,0336x^6 + 38,624x^5 - 18517x^4 + 5E+06x^3 - 7E+08x^2 + 5E+10x - 2E+12$$

$$R^2 = 0,935$$



Пикетаж (x), км

10. ПО-2: Расстановка опор по профилю. Критические точки. Степенные аппроксимирующие полиномы для функций линий рельефа (длина 3,8 км)



Область допустимых значений: **190-194 км** (длина 3,8 км)

Степенной аппроксимирующий полином для функций линий рельефа

$$Y_2 = -0,0336X^6 + 38,624X^5 - 18517X^4 + 5E+06X^3 - 7E+08X^2 + 5E+10X - 2E+12;$$

Критические точки и корни: **$X_5 = X_6 = 191,6$ км** (точки перегиба);

$X_4 = 264,1$ км; $X_3 = 433,1$ км; $X_2 = 417,6$ км; $X_1 = 167,0$ км.

Уравнение потенциальной функции в Теории катастроф (каноническая форма «бабочка»)

$$F(c) = C^6 + aC^4 + bC^3 + cC^2 + dC; \quad \mathbf{C_6 = 191,6 \text{ км.}}$$

1. Бекман И.Н. Катастрофы. Курс лекций. — М.: МГУ, 2015. 2. Арнольд В.И. Теория катастроф. — М.: Наука, 1990.

3. Бошнякович А.Д. Механический расчет проводов и тросов линий электропередачи. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962.

11. Анализ совместной работы радиобашен в линейной системе

Рис.1 Конструкции радиобашни типа «Заря» высотой 42,0 м с антенными полотнами



Рис.2 Расчетная схема линейной системы из радиобашен (цифры – номера) с натяжной подвеской полотен (а), графики напряжений – деформаций (μm), возникающих в идентичных раскосах ствола башен №№ 11–15 при демонтаже АП в пролете между башнями №№ 10–11 (б)

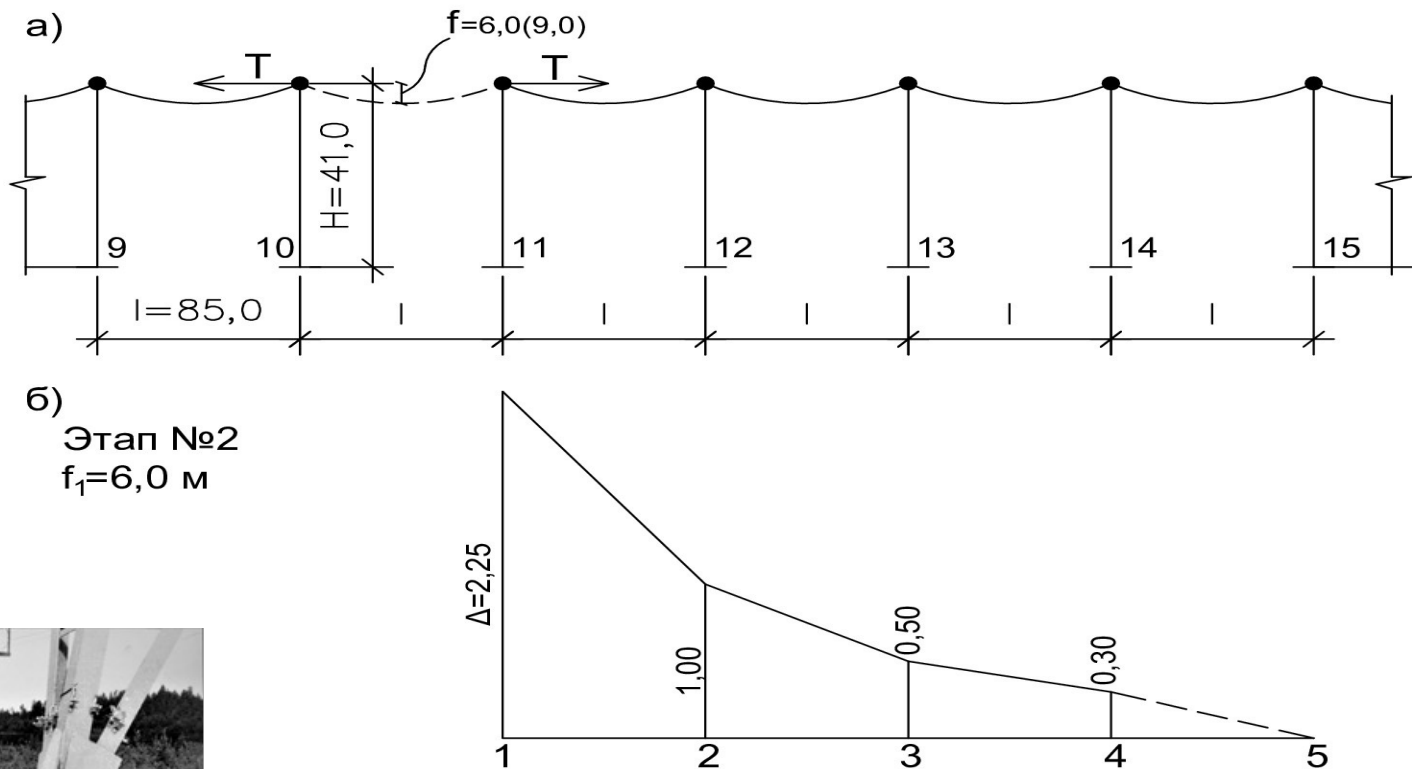


Рис. 3. Антенная группа «Заря» с линейной системой из 26 широкобазых радиобашен



Схема	Этап работ	Номера башен и показания тензометров на раскосах ствола (микрон, μm)					
		11	12	13	14	15	16
1	Математическая модель	1	0,500	0,250	0,125	0,0625	0,03125
2	Эксперимент (этап №2)	1	0,445	0,222	0,133	-	-
		0	10%	11,2%	6,4%	-	-

12. ЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА: 1 - УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЛИНИИ ДО ОБРЫВА

Обрыв проводов в одном из пролетов резко меняет условия работы единой системы проводов и опор. До обрыва проводов опоры нагружены вертикальными силами от собственного веса проводов и гололеда на них, а также от поперечных сил давления ветра. Схема работы линии в таком состоянии представлена на (рис.1).

Рассматривается ситуация, при которой учитываются изменения усилий только в оборванном проводе без влияния соседних проводов и тросов.

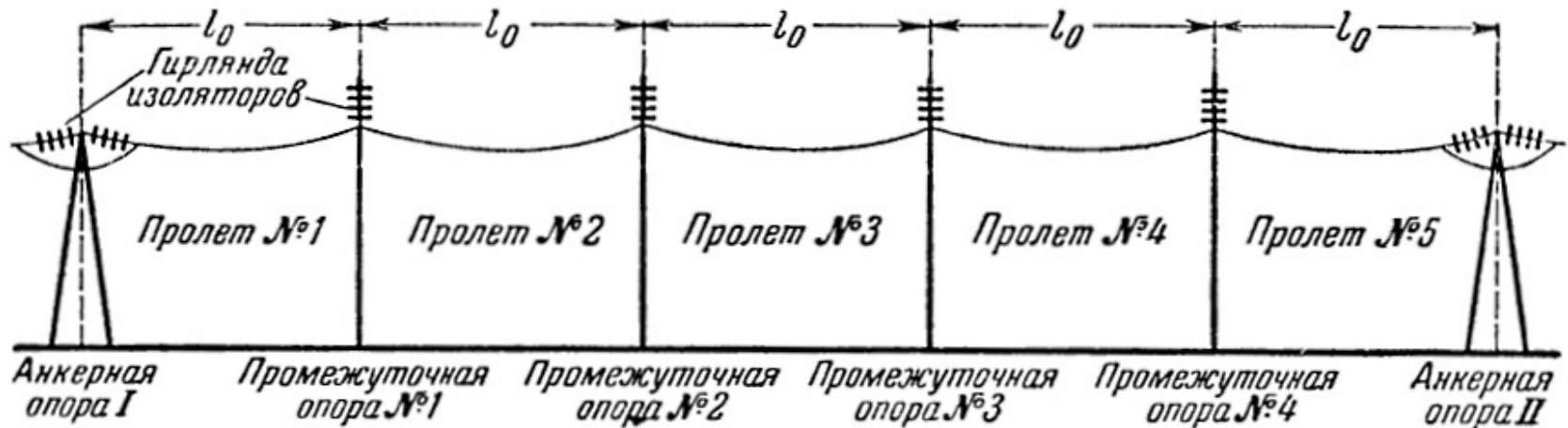


Рис. 1 – Схема работы линии при необорванных проводах

12. ЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА: 2 - УСЛОВИЯ РАБОТЫ ЛИНИИ ПОСЛЕ ОБРЫВА

После обрыва провода в разных пролетах линии действуют силы, возникшие из-за разных усилий тяжения и направленные вдоль трассы (рис. 2). Опоры получают смещение, а гирлянды изоляторов – отклонения до момента наступления равновесия в системе, что приводит к разным длинам новых пролетов и напряжениям в материале провода. Получаемые усилия тяжения в проводе представлены на графике (рис. 3).

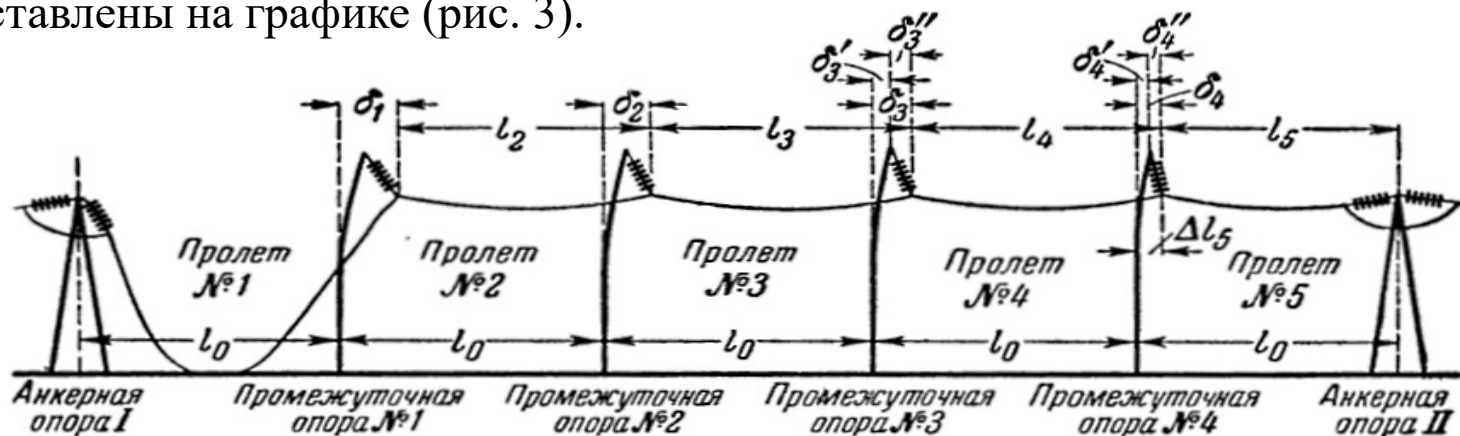


Рис. 2 – Схема работы линии при оборванном проводе

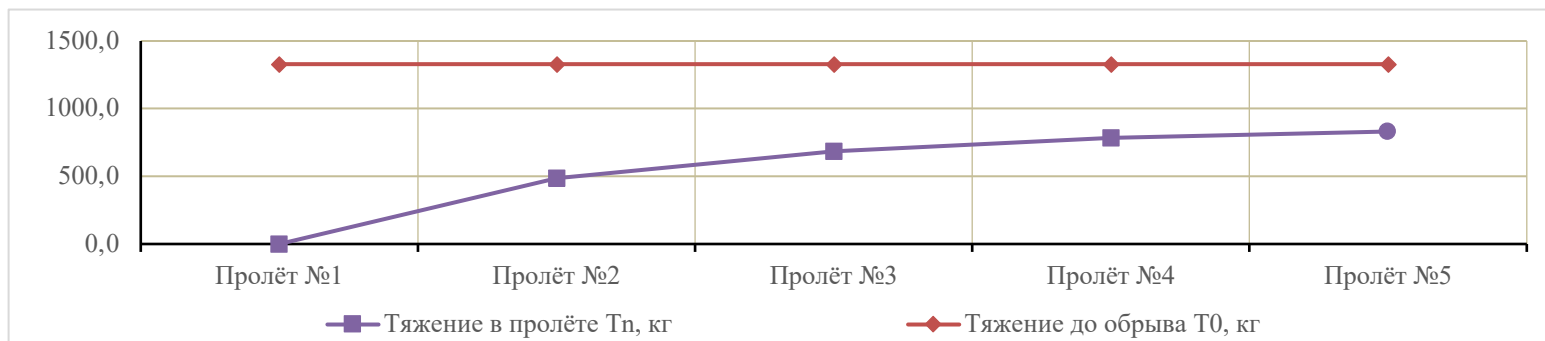


Рис. 3 – Усилия тяжения T в проводе при его обрыве в пролете №1

12. ЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА: 3 - УСЛОВИЯ РАБОТЫ ВЛ КАК ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ

Линия ВЛ 330кВ состоит из анкерно-угловых опор У330Н-1+14 и промежуточных П330Н-1. (см. рис. 4-5) На линии подвешены 3 провода марки АС 300/66 и грозотрос марки 11.0-МЗ-В-ОЖ-Н-Р. Обрыв провода на рассматриваемой линии из 21-ого пролёта приводит изменению не только его собственного состояния в других пролетах, но и к изменению усилий в других проводах и тросах (см. рис. 10).

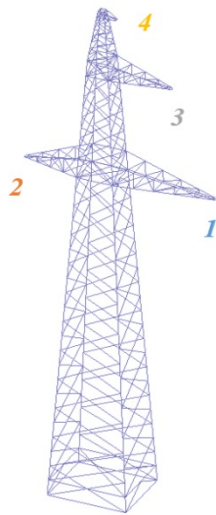


Рис. 4 – Промежуточная опора П330Н-1

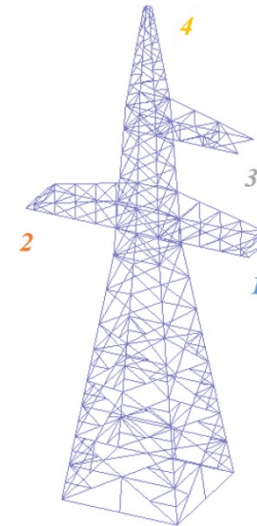


Рис. 5 – Анкерно-угловая опора У330Н-1+14

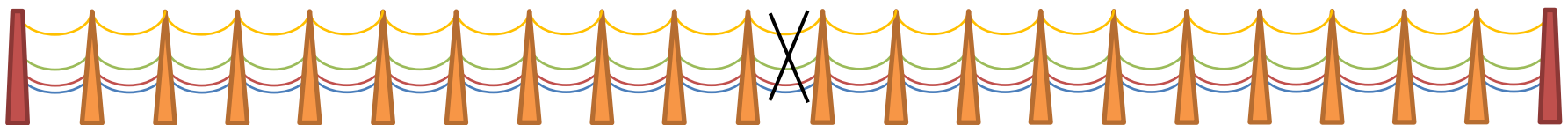


Рис. 6 – Рассматриваемая линия ВЛ 330кВ

12. ВЛИЯНИЕ ОБРЫВА ПРОВОДА ИЛИ ГРОЗОТРОСА

Обрыв провода №1 или провода №2 приводит к схожему результату как при обрыве провода №3, представленному на графике ниже (см. рис. 11) с небольшим отличием усилий в проводах и грозотросе. При обрыве грозотроса происходит изменение усилий тяжения, представленное на графике ниже (см. рис. 12).

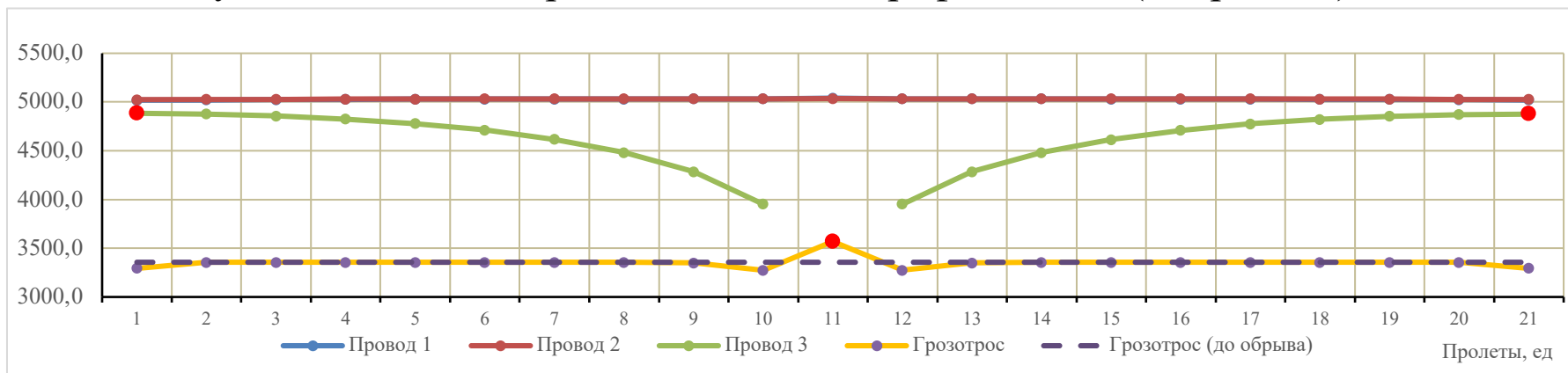


Рис. 11 – Усилие тяжения Т в проводах при обрыве провода №3 в пролетах ВЛ, кг

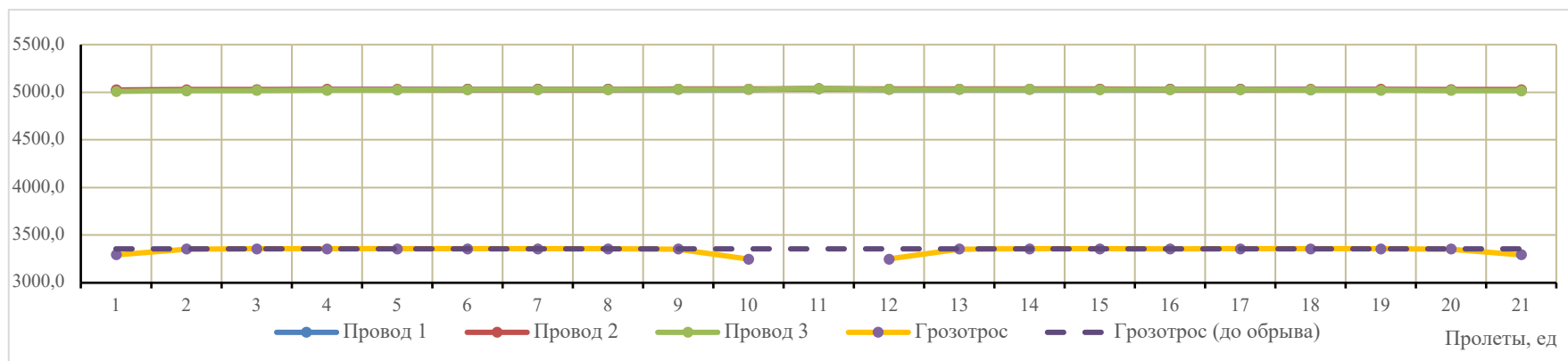


Рис. 12 – Усилие тяжения Т в проводах при обрыве грозотроса в пролетах ВЛ, кг

Таблица 1 – Изменение тяжения в грозотросе при обрыве провода или грозотроса

	Обрываемый провод/трос	Пролёт (Обрыв провода/троса в пролёте N)				
		N-2	N-1	N	N+1	N+2
Начальное тяжение грозотроса T, кг		3356,14	3356,14	3356,14	3356,14	3356,14
Тяжение после обрыва T ₀ , кг	Обрыв провода №1	3352,69	3309,80	3468,94	3309,80	3352,69
	Обрыв провода №2	3353,21	3316,19	3452,27	3316,20	3353,21
	Обрыв провода №3	3349,87	3273,61	3569,25	3273,62	3349,87
	Обрыв грозотроса	3352,55	3249,07	0,00	3249,07	3352,55
Изменение тяжения после обрыва (T ₀ -T _n)/T _n , %	Обрыв провода №1	-0,103%	-1,381%	3,361%	-1,381%	-0,103%
	Обрыв провода №2	-0,087%	-1,190%	2,864%	-1,190%	-0,087%
	Обрыв провода №3	-0,187%	-2,459%	6,350%	-2,459%	-0,187%
	Обрыв грозотроса	-0,107%	-3,190%	-100,000%	-3,190%	-0,107%

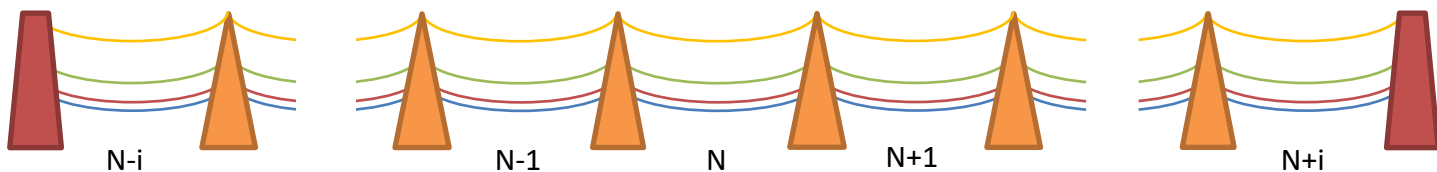


Рис. 13 – Общая схема участка линии

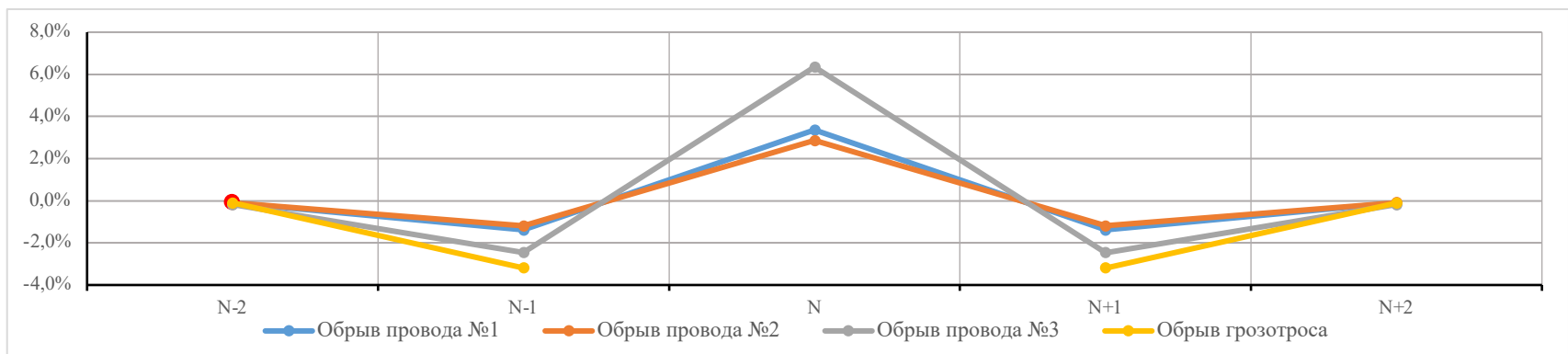


Рис. 14 – Изменение усилия тяжения T в грозотросе после обрыва

13. ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Обрыв провода на участке линии приводит к изменению усилия тяжения как в оборванном проводе, так и в других проводах и грозотросе. Наибольшее изменение усилия тяжения на рассматриваемой линии происходит в грозотросе, наблюдается увеличение усилия на 6,35% (точка на кривой грозотроса).
2. Обрыв провода в пролете оказывает наибольшее влияние на другие провода и тросы в пределах этого пролета и соседних с ним, после чего усилие выравнивается до начальных значений (провод 1 и провод 2).
3. Обрыв провода в пролете приводит к резкому уменьшению его собственного усилия тяжения в соседних и последующих пролетах, с постепенным его выравниванием до предыдущих значений (провод 3)
4. Требуется выполнить исследование динамического удара при обрыве проводов и тросов с целью уточнения коэффициента надежности при их обрыве.
5. Требуется выполнить исследование дополнительных воздействий на провода, тросы и соседние опоры при боковом падении опоры перпендикулярно оси ВЛ с учетом проскальзывания в поддерживающих зажимах зажимах.



**Испытатели в Механической
лаборатории им. Профессора Н.Н.
Аистова (25.05.2022)**

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**