

Министерство энергетики и электрификации СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ

Ордена Октябрьской Революции
Всесоюзный государственный проектно-исследовательский
и научно-исследовательский институт
энергетических систем и электрических сетей
ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ

Северо-Западное отделение

О Т Ч Е Т

по теме 05827 "Испытание опытных образцов
переходных опор ВЛ 500 кВ высотой до 100м"

Главный инженер



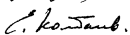
Б.М. Баранов

Зав. НИЛКЭС, к. т. н.



А.М. Курносов

Ответственный испол-
нитель, с. н. с.



Н.М. Колбанов

ЛНВ. № 9674тм-т10

Ленинград
1984 г.

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

1. БУЛЫГИН Э.В., высококвалифицированный рабочий сектора испытаний НИИЭС (сборка испытательной установки и силовых схем).
2. ВОРОНЯТИНОВА Л.А., высококвалифицированная рабочая сектора испытаний НИИЭС (настройка тензодатчиков на исследуемые элементы траверса, выполнение измерений в процессе испытаний).
3. КОЛБАНОВ В.И., с.н.с. НИИЭС (проведение испытания, составление отчета).
4. КОСТИКО В.Н., высококвалифицированный рабочий сектора испытаний НИИЭС (сборка испытательной установки и силовых схем).
5. КУРНОСОВ А.И., зав. лабораторией НИИЭС (составление программы испытаний, проверка отчета).
6. ПЕТРОВ О.Л., начальник сектора испытаний НИИЭС (установка измерительных приборов и выполнение измерений в процессе испытаний).

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Список исполнителей	1
Оглавление	2
Введение	3-4
Цель испытаний	4-5
Объем, методика и схема испытаний	5-6
Измерения при испытаниях	6-7
Освидетельствованные конструкции	7
Результаты испытаний отрывов	8-10
Выводы	10-11

Испытание стальных опор переходных спар ВЛ 500

I. Введение.

Основной целью разработки является создание новых эквивалентных конструкций переходных спар ВЛ 500 кВ из трубчатых элементов с облегченными фланцевыми соединениями.

В настоящее время фланцы жестких фланцевых соединений трубчатых элементов на ВЛтах производится по приближенным формулам, не учитывающих достаточных теоретических и экспериментальных обоснований. В практике это привело к увеличению размеров фланцевых элементов, масса которых достигает 10% массы всей переходной опоры.

Поэтому проведение экспериментально-теоретических исследований соединений трубчатых элементов переходных спар могут привести к созданию новых эквивалентных конструкций опор с облегченными фланцевыми элементами.

Снижение массы опор за счет фланцевых элементов приведет к экономии материалов и рабочей силы при изготовлении и монтаже.

Испытанию подвергались 2 трубчатых стержня на фланцевых соединениях (чертеж 9674таг.т6-100). Первый тип стержня представлял собой соединение трубы $\phi 325 \times 8$, длиной 3,015 м; с трубой $\phi 426 \times 10$, длиной 1,515 м на фланцах, толщиной 40 мм, подкрепленных 8 ребрами $\delta = 10$ мм, с 8 болтами $d = 36$, класса 4.6.

Второй тип стержня отличался от первого только наличием опорных колец $\delta = 10$ мм, в которые привариваются ребра фланцевого соединения.

Материал труб - сталь 20, материал остальных деталей - сталь марки Вст 3.

Опытные образцы трубчатых стыков были изготовлены на Зуевском энерго-механическом заводе "Главэнергостроймеханизация."

Экспериментальные исследования опытных образцов проводились на испытательном полигоне НИИЭС СЗО института "Энерговетстройпроект" в г. Кольино.

2. Цель испытаний

Целью испытаний конструкции опытных образцов трубчатых стыков являлось.

1. Определение усилий в сегментах трубчатых элементов и в болтах фланцевых соединений при нагружении опытных образцов расчетными нагрузками, выбранными из нагрузок следующих режимов:

- 1-го нормального (ветрового) режима,
- 2-го нормального (гололедного) режима,
- 3-го аварийного режима (обрыв провода),
- 4-го аварийного режима (обрыв троса)

Найденные опытные усилия сравнить с расчетными теоретическими данными.

2. Оценка несущей способности стыкового соединения при действии нагрузок выше расчетных; до 150% при действии нагрузок на стыковые соединения I и II типа.

При испытаниях опытных образцов трубчатых стыков основное внимание было обращено на прочность и деформативность фланцевого соединения, а также

на распределение усилий в болтах этого соединения. Определения болтовых усилий должны были показать:

1) Соответствуют ли те расчетные предположения при которых производится определение несущей способности болтов французского соединения при работе его на сжатие с изгибом.

2) Какой требуется производить приближенный расчет болтов в соединении, теоретические значения которого были бы близки к опытным данным.

3. Объем, методика и схемы испытаний.

3.1. Перед монтажом опытных стыков на трубогате элементы наклеивались тензодатчики ПКБ тип П с базой 20мм с целью определения величин нормальных напряжений в сечении при действии на элементы опытных нагрузок.

Испытания предусматривали измерения напряжений в точках, в каждую из которых наклеивались 2 датчика. Схемы наклейки тензодатчиков показана на рис. 2-3.

Полученные результаты испытаний представлены на таблицах 1 и 2 (стр. 16-17).

3.2. Возмозжные стяжения в плоскости изгиба при действии испытательных нагрузок измерялись с помощью 2 прогибомеров (А-1, В-1) в ПАО (цена деления - 0,01мм).

3.3. Усилия в болтах французского соединения замерялись с помощью индикаторов, которые были размещены на 4 болтах. Эти болты размещались на одной диаметральной половине кольцевого сегмента

трубчатого элемента считалось, что усилия в сдвух 4 болтах равны найденным усилиям в измеренных болтах, из-за симметрии расположения болтов относительно плоскости действия испытательных нагрузок.

3.4. Какую тип опытных образцов испытывался в одинаковых условиях. Нагрузки через силсвой пресс, который был наклонён к вертикальной оси трубчатого элемента на угол равный $46,97^\circ$, прикладывался к верхнейму сечению трубы и при расчетной 100% нагрузке в сечении стыка возникали расчетные усилия ($M = 12,9 \text{ тм}$; $Q = 1,6 \text{ т}$; $N = 4 \text{ т}$).

Нагрузка на опытные образцы прикладывалась ступенчатой 0% - 25% - 50% - 75% - 100% - 105% - 120% - 0% от расчетной. На каждой ступени загрузки опытные образцы выдерживались под нагрузкой в течение времени, необходимого для снятия отпечатков по триэсрам.

После загрузки 120% расчетной нагрузки образцы разгружались и замерялись остаточные деформации и напряжения.

Отметили, что прикладываемая нагрузка действительно находилась в одной плоскости и стклоненный из плоскости прикладываемого изгибаемого элемента по данным прсцибелмеров замечено не было.

4. Измерения при испытаниях

При испытаниях производились следующие измерения:

4.1 Величин нагрузок, прикладываемых

силевый пресс и пластине электрической лампы и плавкостью - по Ю. Менделееву дин. километр ДПУ-10.

4.2. Условий и нормальных напряжений в сечениях трубчатых элементов - изделиями ПКБ тип II.

4.3. Трещины (перемещений) трубчатых стыков из плоскости действия нагрузки - 2. протекания в ПАО.

4.4. Условий в болтах фланцевого соединения - 4 индикаторами с ценой деления 0,002 мм и 0,001 мм, установленными на металлических скобах, соединенных с поверхностями болтовых головок и стержней болтов.

5. Свидетельствование конструкции стыковых обхватов трубчатых стыков с фланцевыми соединениями.

Свидетельствование конструкции произведено до монтажа стыков и после проведения испытаний. Смещения от линейных размеров пресмета (инв. № 9674ТМ-75) при свидетельствовании элементов трубчатых стыков не было замечено.

6. Результаты испытаний опытных образцов трубчатых стыков.

6.1. При испытании первого образца трубчатого стыка испытательная нагрузка передавалась с помощью силового троса ступенями, равными 2,5, 5,0, 7,5, 10,0, 10,7% от расчетной, что соответствовало усилию в тросе — 1,5 тс; 3,0 тс; 4,5 тс; 6,0 тс. После снятия счетов при данных испытательных нагрузках (согласно программе испытаний), было решено увеличивать нагрузку до разрушения или потери целостности элементов стыка.

Это увеличение испытательной нагрузки производилось до величины равной 7 тс (119 — 120% от расчетной нагрузки). При этой величине произошла потеря целостности одного из передающих блоков силового троса и испытания были прекращены.

6.2. Напряженно-деформированное состояние трубчатых элементов опытных образцов определялось с помощью тензодатчиков, расположенных в сечениях 1-1 (рис 2-3, см. стр 13-14).

Данные о нормальных напряжениях в этих сечениях показаны в таблицах 1 и 2. Сечения 1-1 и 1и2 образца были расслоены выше плоскости стыка на расстоянии равном 350 мм, чтобы уменьшить влияние краевого эффекта на величины нормальных напряжений в сечениях образцов.

Как видно из таблицы 1 и 2 даже при нагружении испытательной нагрузкой, равной 120% от расчетной, величины краевых напряжений

$$\left(\sigma_1 = 1400 \text{ кгс/см}^2 \text{ и } \sigma_2 = 1500 \text{ кгс/см}^2 \right)$$

не достигали предела текучести материала трубы (Ст 20).

При 100% расчетной нагрузки величины краевых напряжений ($\sigma_2 = 1200 \text{ кгс/см}^2$) были почти в 2 раза меньше предела текучести стали Ст 20 ($\sigma_y = 2300 \text{ кгс/см}^2$).

Данные напряжений в сечениях 1-1 показывают, что в сечениях трубчатых элементов имеются напряженные состояния скорее близкие к плоскому (цилиндрическая оболочка), чем к линейному (балка).

Данные об усилиях в болтах французского соединения даны на таблицах 3 и 4.

Как показали прошедшие испытания прочность болтового соединения была достаточной, чтобы воспринять испытательную нагрузку, равной 120% от расчетной.

Существующая расчетная схема определения усилия в самом напряженном болте, примененная при расчете болтового соединения трубчатых стержней позволила создать прочнее соединение. Так при 100% расчетной нагрузки по данным проекта, при расчете предполагалось усилие в самом напряженном болте равно 9,17 тс. При испытательном нагружении

было условие равное 7,78 тс (8,5% от предельного).

Нужно отметить, что толщина фланцев равная 48 мм определялась из расчета двух-пролетной балки (см. № 9633 тм - т7) и привело, по нашему мнению, к утолщению фланцев.

Расчет в предположении того, что фланец работает как балка с защеланными концами, может дать облегчение веса фланцевого соединения. При этом расчете толщина фланца получается равной 25 мм, имея те же исходные данные.

7. Выводы.

В результате испытаний опытных образцов трубчатых стыков установлено следующее:

7.1. Конструкции опытных образцов трубчатых стыков выдержали испытания расчетными нагрузками самого неблагоприятного сочетания, выбранных из режимов:

- 1-го нормального (ветрового) режима,
- 2-го нормального (последнего) режима,
- 3-го аварийного режима (обрыв провода)
- 4-го аварийного режима (обрыв троса)

7.2. Конструкции опытных образцов выдержали нагрузки до 119% от расчетной без каких-либо нарушений прочности элементов

стыков или потери устойчивости.

Ввиду этого, конструкции данных стыков трубчатых опор ВЛ можно применять при строительстве ВЛ без всяких ограничений.

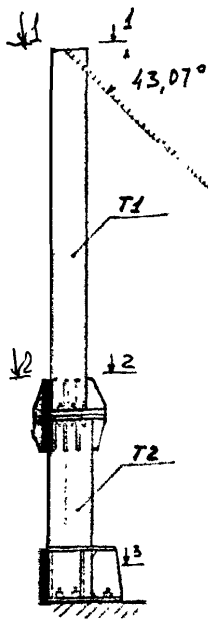
7.3. Конструкции опытных образцов имеют по крайней мере 10% запас прочности, по сравнению с предполагаемыми расчетными.

Поэтому в будущем необходимо повторить испытания с подобными образцами трубчатых стыков, имеющих толщину $\delta = 25$ мм.

7.4. Трубчатые элементы опытных образцов работают при нагружении нагрузками, лежащими в одной плоскости, по диагональной схеме с некоторым эффектом пространственной работы трубы как тонкой оболочки.

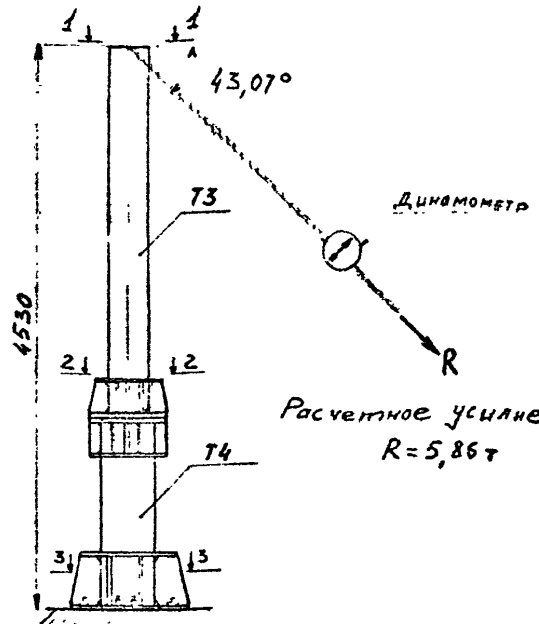
Поэтому требуется провести более тщательные теоретические разработки работы трубы под действием изгибающего момента, чтобы создать расчетные методы, позволяющие учитывать пространственную работу элементов опоры ВЛ, имеющих форму оболочки.

7.5. Существующая методика определения усилий в болтах французского соединения даёт результаты близкие к результатам, полученным при проведении эксперимента. опытными образцами трубчатых стыков опор ВЛ.



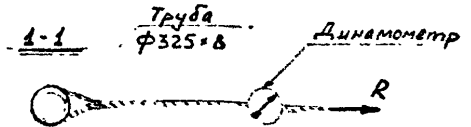
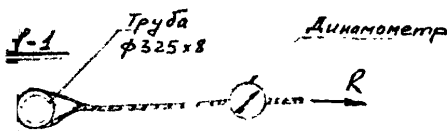
Расчетное усилие
 $R = 5,86 \text{ т}$

I тип опытного образца



Расчетное усилие
 $R = 5,86 \text{ т}$

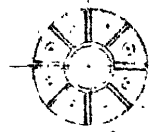
II тип опытного образца



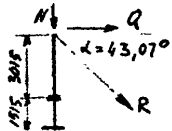
3-3 2-2



3-3 2-2



а) Схема испытания трубчатых стыков. (см. чертеж 9674тм-т6-100) Переходные опоры ВЛ 500кВ высотой до 100 м



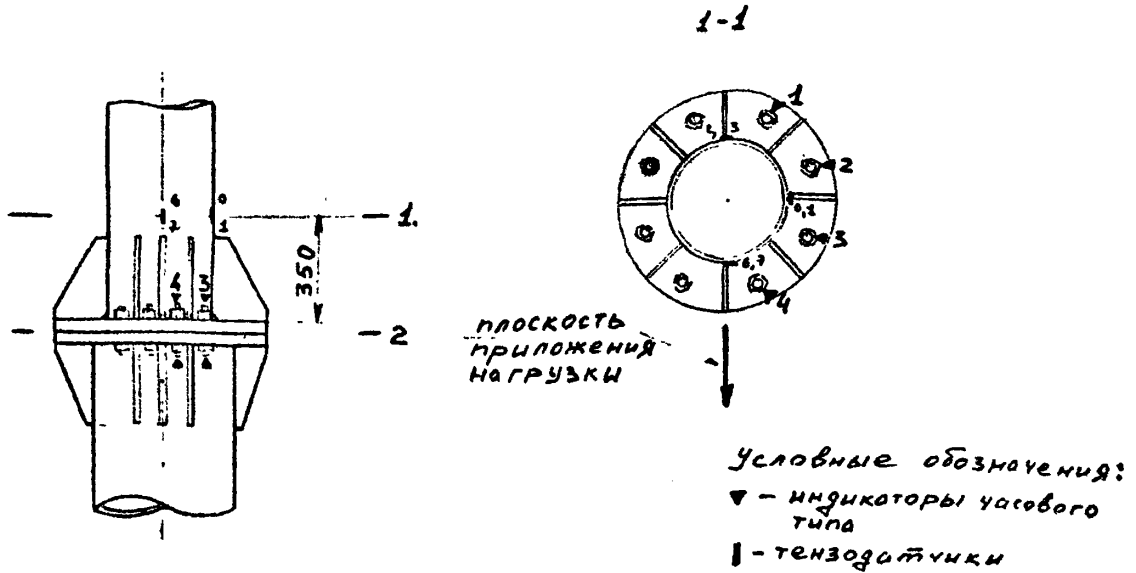
Расчетные усилия в стыке $M=12,9 \text{ тм}$; $Q=1,6 \text{ т}$; $N=4 \text{ т}$.

$$Q = \frac{M}{3,015 \text{ м}} = 4,28 \text{ т} \quad R = \sqrt{4,28^2 + 4^2} = 5,86 \text{ т}$$

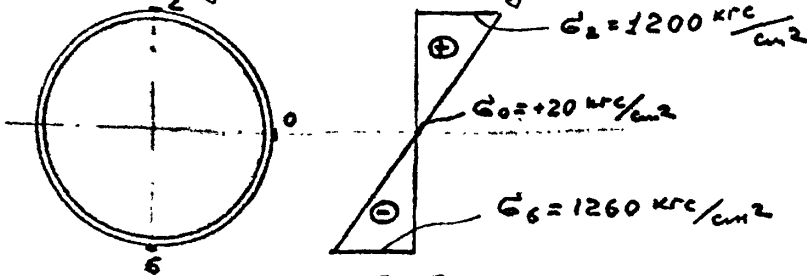
$$\text{tg } \alpha = \frac{N}{Q} = \frac{4}{5,86} = 0,93 \quad \alpha = 43,07^\circ$$

б) Расчетная схема испытания трубчатых стыков.

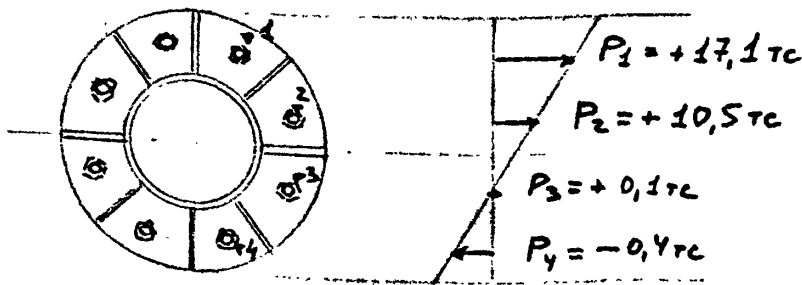
1. Схема испытания трубчатых стыков переходных опор ВЛ 500 кВ высотой до 100 м.



а) Схема установки тензодатчиков и индикаторов

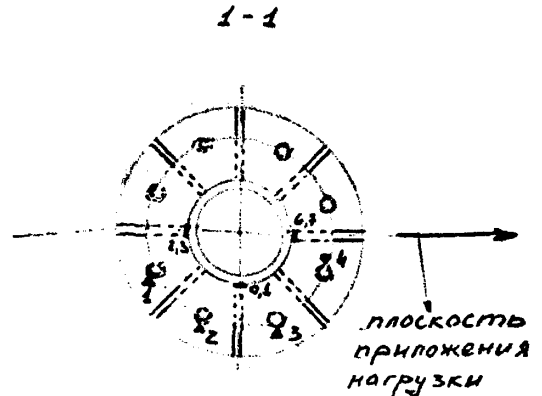
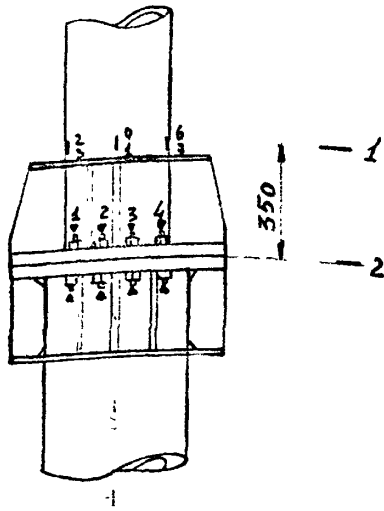


б) Эпюра распределения нормальных напряжений в сечении 1-1 по тензодатчикам 6, 0, 2 при 100% расчетной нагрузке



в) Эпюра распределения усилий в сечении 2-2 по данным индикаторов, установленных на болты 1, 2, 3, 4 при 120% расчетной нагрузке.

Рис. 2. Схема установки измерительных приборов при испытании I типа опытного образца трубчатых стыков.

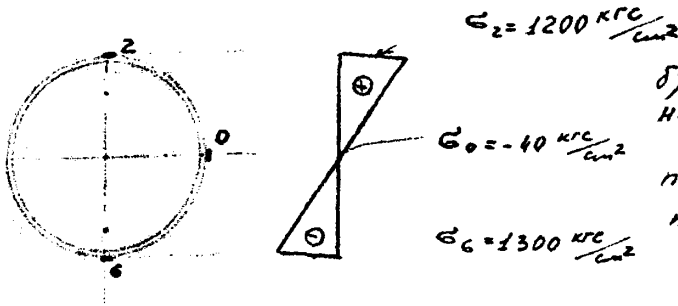


Условные обозначения:

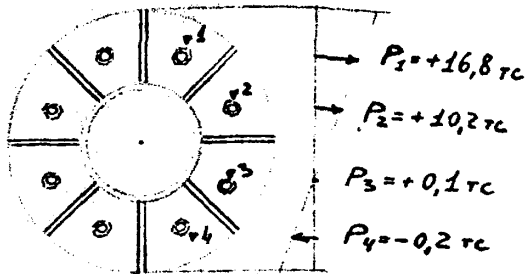
◆ - индикаторы часового типа

1 - тензодатчики

а) Схема установки тензодатчиков и индикаторов.



б) Эпюра распределения нормальных напряжений в сечении 1-1 по тензодатчикам 6, 0, 2 при 100% расчетной нагрузке



в) Эпюра распределения усилий в сечении 2-2 по данным индикаторов, установленных на болты 1, 2, 3, 4 при 120% расчетной нагрузке.

Рис. 3. Схема установки измерительных приборов при испытании II типа опытного образца трубчатых стыков.

Таблица № 1

Нормальные напряжения (кгс/см^2) в сечении 1-1
трубчатого элемента при действии испытательных
нагрузок на образец I типа

№ эпох гру- нтания	Процент от расчет- ной нагруз- ки на образец	Испытательная нагрузка в силовом трассе (ТС)		Номера точек сечения трубчатого элемента (рис. 2)							
		теорет. значение	опытные величины	0	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,47	1,5	60	-100	260	220	-60	-40	-360	-220
3	50	2,93	3,0	-60	-80	580	500	-60	-60	-640	-440
4	75	4,40	4,5	60	-20	920	800	-60	-60	-920	-660
5	100	5,86	6,0	20	-40	1200	1000	-100	-100	-1260	-880
6	105	6,16	6,4	20	-20	1300	1100	-100	-100	-1360	-940
7	119	7,0	7,0	40	0	1400	1180	-80	-100	-1440	-1040
8	0	0	0	0	-60	0	-60	-20	0	0	+40

Таблица №2

Нормальные напряжения (кгс/см^2) в сечении 1-1 трубчатого элемента при действии испытательных нагрузок на образец II типа.

№№ тапов нагру- жения	% от расчетной нагрузки на образец	Испытательная наг- рузка в силовом трассе (тс)		Номера точек сечения трубчатого элемента (рис. 3)							
		теор. значен	опытн. величины	0	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,47	1,5	40	-60	280	220	-40	-20	-280	-260
3	50	2,93	3,0	40	-80	560	440	-40	-40	-560	-440
4	75	4,40	4,5	20	-60	840	700	-80	-40	-880	-640
5	100	5,86	6,0	40	-40	1200	800	-80	-80	-1200	-860
6	105	6,16	6,5	40	-20	1400	900	-100	-100	-1300	-920
7	120	7,05	7,05	40	-20	1500	1100	-100	-100	-1400	-1000
8	0	0	0	0	0	20	-40	-20	0	+20	-40

Усилия (ТС) в болтах французского соединения при действии
Испытательных нагрузок на образец

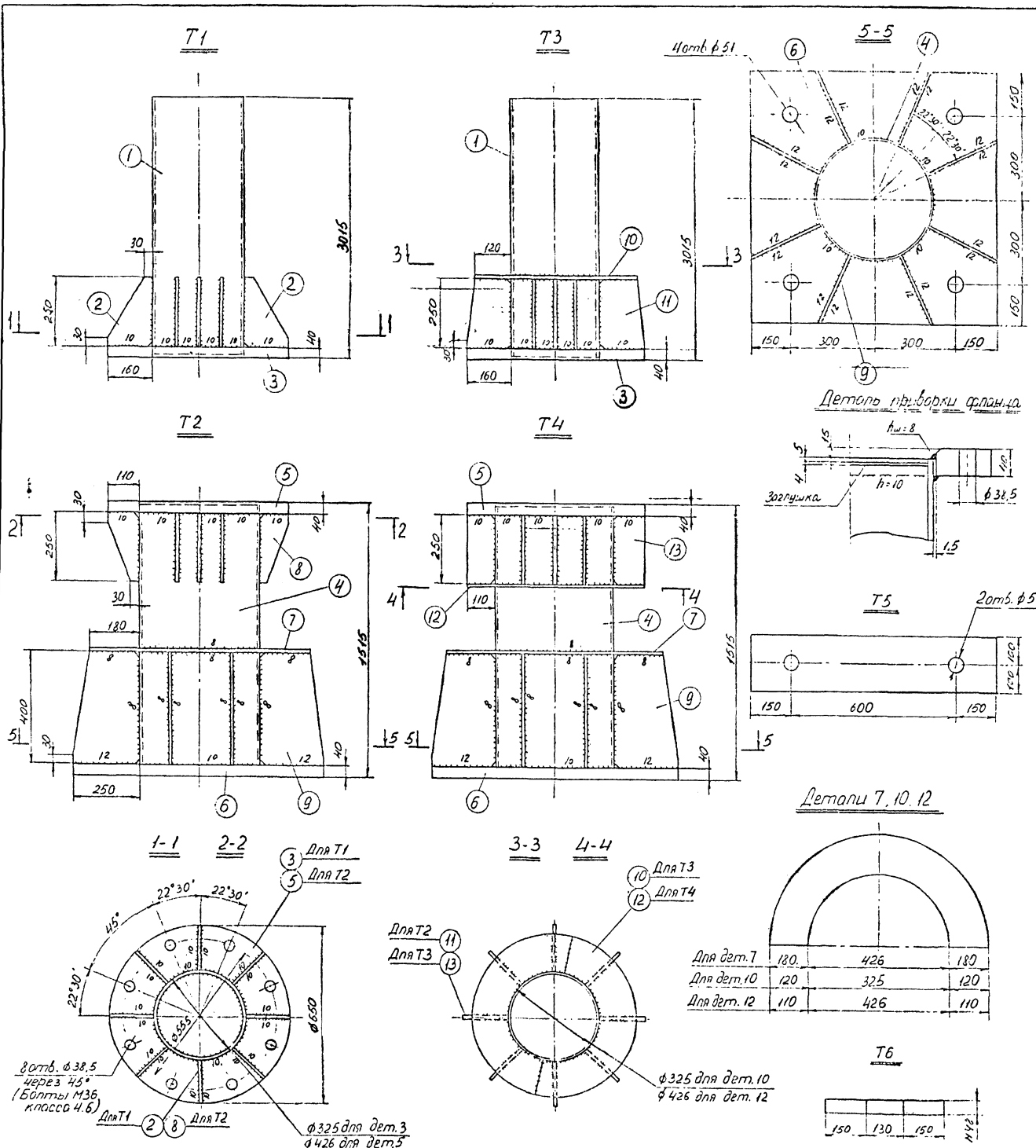
Таблица №3

№ этап нагружения	% от расчетной нагрузки на образец	Испытательная нагрузка в силовом тросе (ТС)		Номера болтов французского соединения (рис. 2)			
		теор значения	опытные величины	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,47	1,5	0	0,39	0	-0,39
3	50	2,93	3,0	0,77	2,72	0	-0,39
4	75	4,40	4,5	3,89	5,05	0,19	-0,39
5	100	5,86	6,0	7,78	6,61	0,10	-0,39
6	105	6,13	6,4	10,49	7,38	0,1	-0,39
7	119	7,0	7,0	17,1	10,49	0,1	-0,39
8	0	0	0	-3,89	-2,72	0	0

Усилия (тс) в болтах французского соединения при действии испытательных нагрузок на образец I типа.

Таблица № 4

№ этап нагружения	% от расчетной нагрузки на образец	Испытательная нагрузка в силовом тросе (тс)		Номера болтов французского соединения (рис. 3)			
		теор. значения	опытные величины	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,47	1,5	0	0,30	0	-0,20
3	50	2,93	3,0	0,80	2,60	0	-0,20
4	75	4,40	4,5	3,80	5,00	0,20	-0,20
5	100	5,86	6,0	7,50	6,40	0,10	-0,20
6	105	6,16	6,5	10,00	7,20	0,10	-0,20
7	120	7,05	7,05	16,80	10,20	0,10	-0,20
8	0	0	0	-3,4	-2,50	0	0



Спецификация

Марка	№ дет.	Сечение	Длина мм	К-во, шт		Масса, кг		Примечан.
				Т	Н	1дет.	Всех	
Т1	1	Труба $\phi 325 \times 8$	3000	1		187,6	188	284
	2	- 180 x 10	250	8		2,0	16	
	3	- 650 x 40	650	1		77,6	80	
	4	Труба $\phi 426 \times 10$	1500	1		153,9	154	
Т2	5	- 650 x 40	650	1		59,4	59	596
	6	- 900 x 40	900	1		254,3	254	
	7	- 395 x 12	790	2		16,1	32	
	8	- 110 x 10	250	8		1,4	11	
	9	- 250 x 16	400	8		10,8	86	
Т3	Детали 1,3 по марке Т1						268	
	10	- 282 x 10	565	2		6,6	13	306
	11	- 160 x 10	250	8		3,1	25	
Т4	Детали 4,5,6,9 по марке Т2						353	
	12	- 325 x 10	650	2		8,6	17	588
Т5	12	- 110 x 10	250	8		2,2	17	57
	12	- 200 x 40	900	1		56,5	57	
Т6		$\phi 48$	430	1		7,8	8	8

Изготовить

Марка	К-во шт	Масса, кг	
		1шт	Всех
Т1	2	284	568
Т2	2	596	1192
Т3	1	306	306
Т4	1	588	588
Т5	2	57	114
Т6	4	8	32
		Итого:	2800

Примечание:

1. Материал труб - сталь 20; материал остальных деталей - В Ст. 3
2. Электроды типа 342 по ГОСТ 9467-75.
3. Все цветные сварные швы $t_{ш} = 6$ мм, кроме оговоренных

Детали 7, 10, 12

Деталь	180	426	180
Для дет. 7	180	426	180
Для дет. 10	120	325	120
Для дет. 12	110	426	110

96.74 тм - Т6-100

Переходные опоры: 8А 500 x 8
высотой по 150 мм

№	Исполн.	Дата	Страна	Вид
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				
81				
82				
83				
84				
85				
86				
87				
88				
89				
90				
91				
92				
93				
94				
95				
96				
97				
98				
99				
100				

Марки Т1, Т2, Т3, Т4, Т5, Т6