Министерство энергетики и электрификации СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ

Ордена Октябрьской Революции
Всесоюзный государственный проектно-изыскательский
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 Е.И.Баранов

Зав.НИЛКЭС,к.т.н. А.И.Курносов

Ответственный исполнитель,с.н.с. К.И.Колбанев

инв. № 9674тм-т10

Ленинград
1984 г.

gost.e-ecolog.ru

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

1. БУЛЫГИН Э.В., высококвалифицированный рабочий сектора испытаний НИИКЭС (сборка испытательной установки и силовых схем).

2. ВОРОНЯТНИКОВА Л.А., высококвалифицированная рабочая сектора испытаний НИИКЭС (наклейка тензодатчиков на исследуемые элементы траверса, выполнение измерений в процессе испытания).

3. КОЛБАНЕВ К.И., с.н.с. НИИКЭС (проведение испытания, составление отчёта).

4. КОСТКО В.Н., высококвалифицированный рабочий сектора испытаний НИИКЭС (сборка испытательной установки и силовых схем).

5. КУРНОСОВ А.И., зав.лабораторией НИИКЭС (составление программы испытаний, проверка отчета).

6. ПЕТРОВ О.Л., начальник сектора испытаний НИИКЭС (установка измерительных приборов и выполнение измерений в процессе испытаний).

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Список исполнителей	I
Оглавление	2
Введение	3-4
Цель испытаний	4-5
Объем, методика и схема испытаний	5-6
Измерения при испытаниях	6-7
Освидетельствование конструкций	7
Результаты испытаний стыков	8-10
Выводы	10-11

Испытание стыковых обхватов переходных опор ВЛ 500

I. Введение.

Основной целью разработки являются создание новых экономичных конструкций переходных опор ВЛ 500кв из трубчатых элементов с облегченными фланцевыми соединениями.

В настоящее время расчет фланцевых соединений трубчатых элементов на болтах производится по приближенным формулам, не имеющим 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 опор могут привести к созданию новых экономичных конструкций опор с облегченными фланцевыми элементами.

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

Испытанию подвергались 2 трубчатых стыка на фланцевых соединениях (чертеж 9674тм-т6-100). Первый тип стыка представлял собой соединение трубы ϕ 325 × 8, длиной 3,015 м; с трубой ϕ 426×10, длиной 1,515м на фланцах, толщиной 40мм, подкрепленных 8 ребрами δ = 10 мм, с 8 болтами d = 36, класса 4.6.
Второй тип стыка отличался от первого только наличием опорных колец δ = 10мм, 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 "Энергосетьпроект" в г. Колпино.

2. Цель испытаний

Целью испытаний конструкций опытных образцов трубчатых стыков являлось.

1. Определение усилий в сечениях 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 испытании опытных образцов трубчатых стыков основное внимание было обращено на прочность и деформативность фланцевого соединения, а также

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

1) Соответствуют ли те расчетные предположения, при которых производится определение несущей способности болтов фланцевого 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 трубчатые элементы наклеивались тензодатчики ПКБ тип II 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. Схема наклейки тензодатчиков показана на рис. 2-3.

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

3.2. Возникшие отклонения от плоскости изгиба при действии испытательных нагрузок измерялись с помощью 2 прогибомеров (А-1, В-1) 6ПАО (цена деления — 0,01мм).

3.3. Усилия в болтах фланцевого соединения замерялись с помощью индикаторов, которые были установлены на 4 болтах. Эти болты располагались на одной симметричной половине кольцевого сечения

трубчатого элемента. Считалось, что усилия в других 4 болтах равны найденным усилиям в измеряемых болтах, из-за симметрии расположения болтов относительно плоскости действия испытательных нагрузок.

3.4. Каждый тип опытных образцов испытывался в одинаковых условиях. Нагрузки через силовой трос, который был наклонён к вертикальной оси трубчатого элемента на угол равный 46,97°, прикладывался к верхнему сечению трубы и при расчетной 100% нагрузки в сечении стыка возникали расчетные усилия ($M = 12,9$ тм; $Q = 1,6$ т; $N = 4$ т).

Нагрузка на опытные образцы прикладывалась ступенями 0% – 25% – 50% – 75% – 100% – 105% – 120% – 0% от расчетной. На каждой ступени загружения опытные образцы выдерживались под нагрузкой в течение времени, необходимого для снятия отсчетов по приборам.
После задания 120% расчетной нагрузки образцы разгружались и замерялись остаточные деформации и напряжения.

Отметим, что прикладываемая нагрузка фактически находилась в одной плоскости и отклонений из плоскости прикладываемого изгибаемого момента по данным прогибомеров замечено не было.

4. Измерения при испытаниях

При испытаниях производились следующие измерения:

4.1 Величин нагрузок, прикладываемых

силовым тросом с помощью электрической лебедки и полиспастов — по 10 тонному динамометру ДПУ-10.

4.2. Усилий и нормальных напряжений в сечениях трубчатых элементов — тензодатчиками ПКБ тип II.

4.3 Прогибов (перемещений) трубчатых стыков из плоскости действия нагрузок — 2 прогибомерами 6 ПАО.

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

5. Освидетельствование конструкций опытных образцов трубчатых стыков с фланцевыми соединениями.

Освидетельствование конструкций производилось до монтажа стыков и после проведения испытаний. Отклонений от линейных размеров проекта (инв. № 9674 тм-т5) при освидетельствовании 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 25, 50, 75, 100, 107% от расчетной, что соответствовало усилию в тросе – 1,5 тс; 3,0 тс; 4,5 тс; 6,0 тс. После снятия отсчетов при данных испытательных нагрузках (согласно программе испытаний), было решено увеличивать нагрузку до разрушения или потери устойчивости элементов стыка.

Это увеличение испытательной нагрузки производилось до величины равной 7 тс (119 – 120% от расчетной нагрузки). При этой величине произошла потеря устойчивости 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 у 1 и 2 образца были расположены выше плоскости стыка на расстоянии равном 350 мм, чтобы уменьшить влияние краевого эффекта на величины нормальных напряжений в сечениях образцов.

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

($\sigma_1 = 1400$ кгс/см² и $\sigma_2 = 1500$ кгс/см²)

не достигали предела текучести материала трубы (Ст 20).

При 100% расчетной нагрузки величины краевых напряжений ($\sigma_2 = 1200$ кгс/см²) были почти в 2 раза меньше предела текучести стали Ст 20 ($\sigma_т = 2300$ кгс/см²)

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

Данные об усилиях в болтах фланцевого соединения даны на таблицах 3 и 4.
Как показали проведенные 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 стыков позволила создать прочное 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 усилие равное 7,78 тс (85% от предельного).

Нужно отметить, что толщина фланцев равная 40 мм определялась из расчета двухпролетной балки (см. № 9633 тм - т 7) и привело, по нашему мнению, к утолщению фланцев.

Расчет в предположении того, что фланец работает как балка с защемленными 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 невыгодного сочетания, выбранных из режимов:

- 1-го нормального (ветрового) режима,
- 2-го нормального (гололедного) 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.

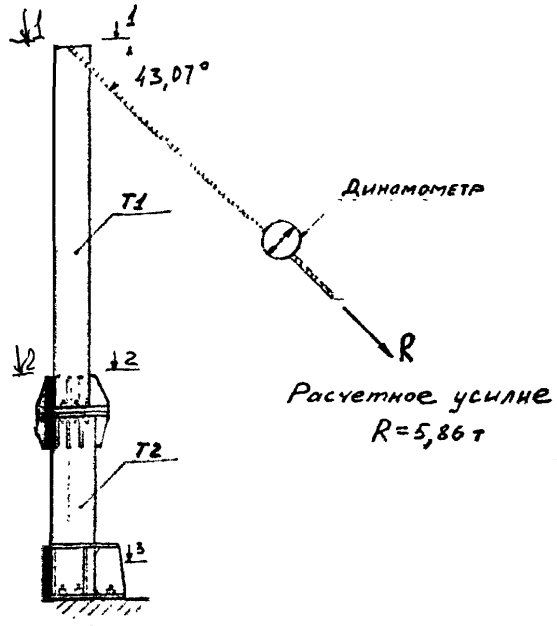
7.3. Конструкции опытных образцов имеют по крайней мере 10% запас прочности, по сравнению с предполагаемыми расчетными.

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

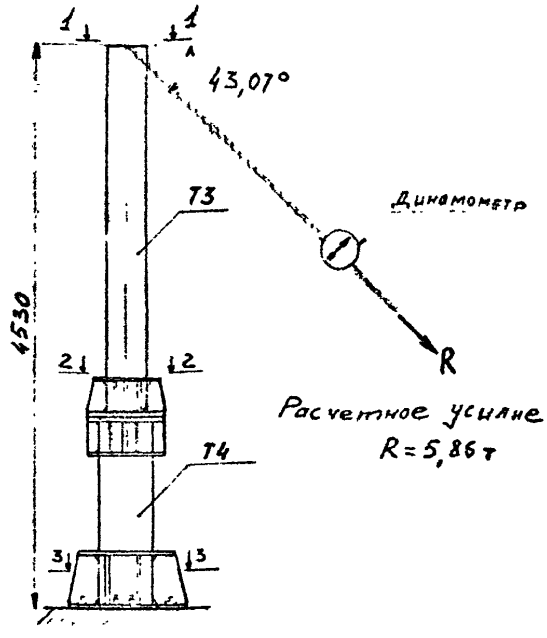
7.4. Трубчатые элементы опытных образцов работают при нагружении нагрузками, лежащими в одной плоскости, по балочной схеме с некоторыми эффектами пространственной работы трубы как тонкой оболочки.

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.

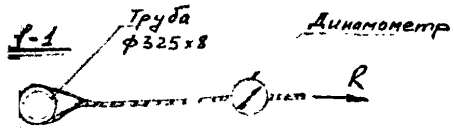
7.5. Существующая методика определения усилий в болтах фланцевого соединения даёт результаты близкие к результатам, полученным при проведении эксперимента. опытными образцами трубчатых стыков опор ВЛ.

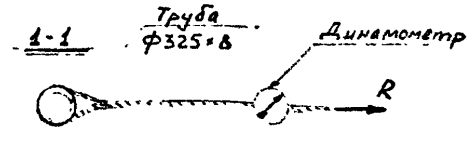


Тип опытного образца

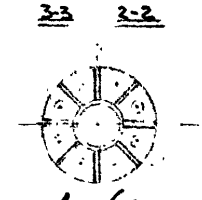


II тип опытного образца

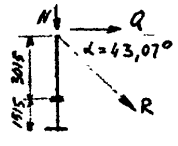








а) Схема испытания трубчатых стыков. (см. чертеж 9674тм-т6-100 Переходные опоры ВЛ 500кВ высотой до 100 м)



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

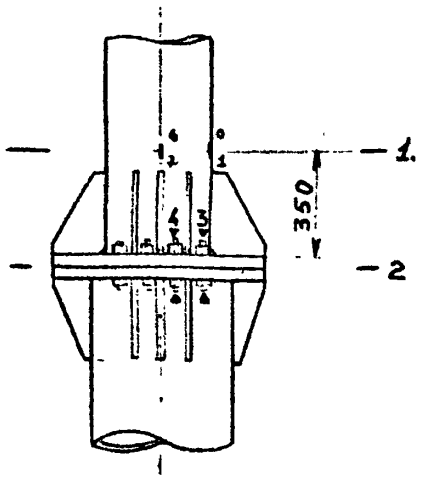
$$Q=\frac{M}{3,015_м}=4,28\text{т} \qquad R=\sqrt{4,28^2+4^2}=5,86\text{т}$$

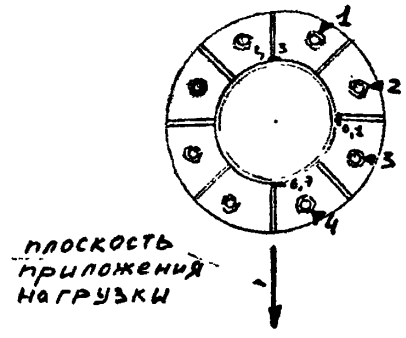
$$tg\,\alpha=\frac{N}{Q}=\frac{4}{5,86}=0,93 \qquad \alpha=43,07°$$

б) Расчетная схема испытания трубчатых стыков.

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

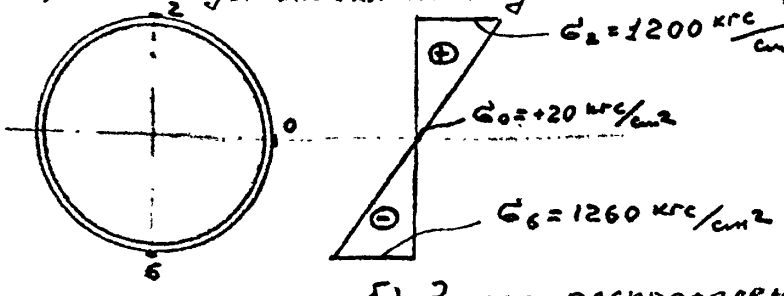
1-1



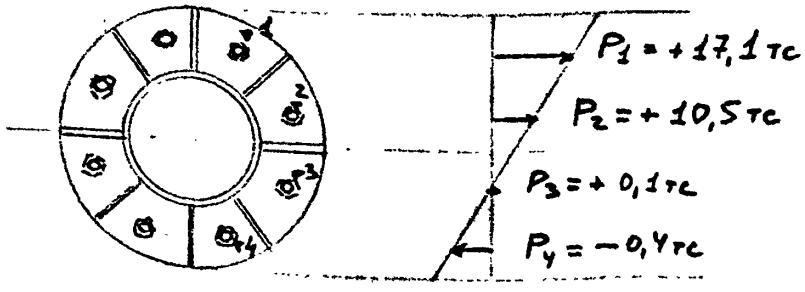


Условные обозначения:
▼ – индикаторы часового типа
| – тензодатчики

а) Схема установки тензодатчиков и индикаторов

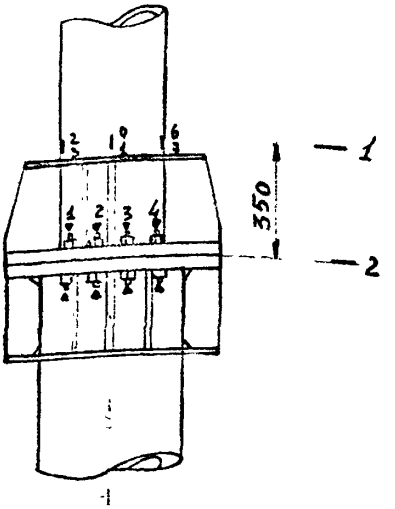


б) Эпюра распределения нормальных напряжений в сечении 1-1 по тензодатчиком 6, 0, 2 при 100% расчетной нагрузке

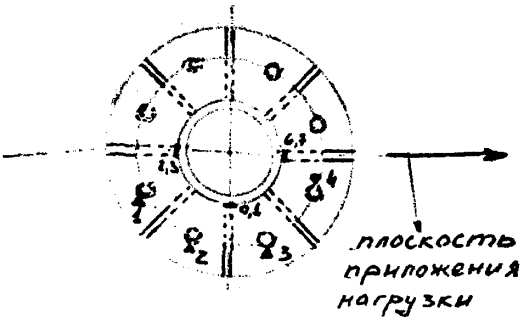


в) Эпюра распределения усилий в сечении 2-2 по данным индикаторов, установленных на болты 1, 2, 3, 4 при 120% расчетной нагрузке.

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



1-1

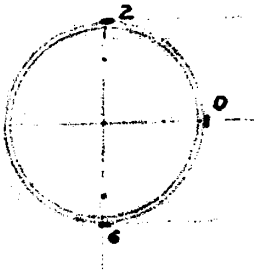


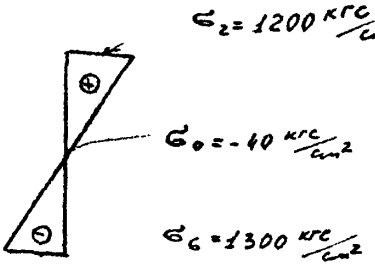
Условные обозначения:

- индикаторы часового типа

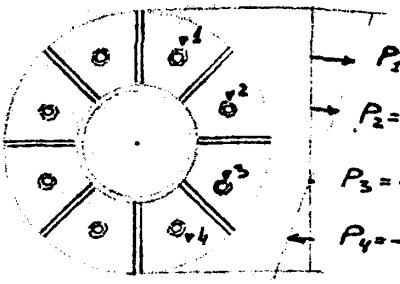
- тензодатчики

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/см²) в сечении 1-1 трубчатого элемента при действии испытательных нагрузок на образец I типа

№ опыта	Процент от расчетной нагрузки на образец	Испытательная нагрузка в силобом тросе (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/см²) в сечении 1-1 трубчатого элемента при действии испытательных нагрузок на образец II типа.

№№ этапов нагружения	% от расчетной нагрузки на образец	Испытательная нагрузка в силовом тросе (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 фланцевого соединения при действии испытательных нагрузок на образец

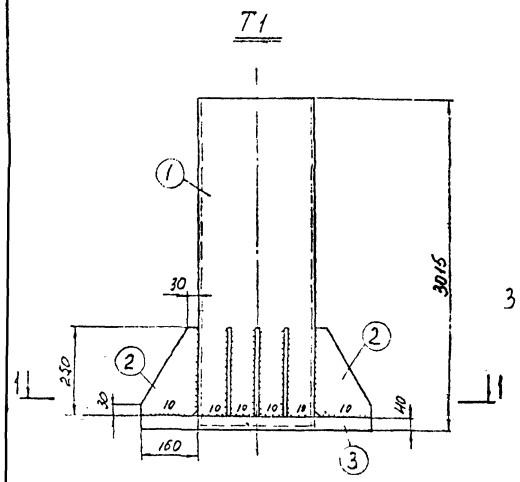
Таблица №3

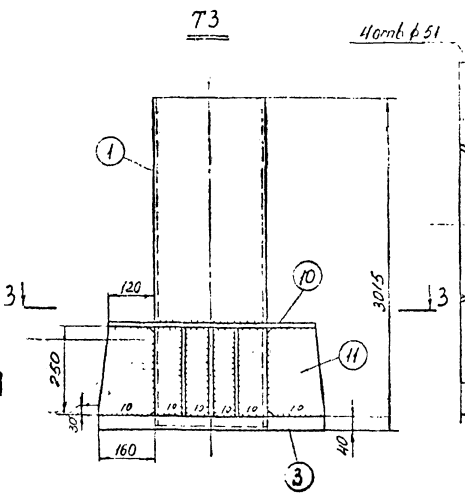
№№ этапов нагружения	% от расчетной нагрузки на образец	Испытательная нагрузка в силовом тросе (тс)		Номера болтов фланцевого соединения (рис. 2)			
		теор значения	опытные величины	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,47	1,5	0	0,39	0	-0,39
3	50	2,93	3,0	0,77	2,72	0	-0,39
4	75	4,40	4,5	3,89	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

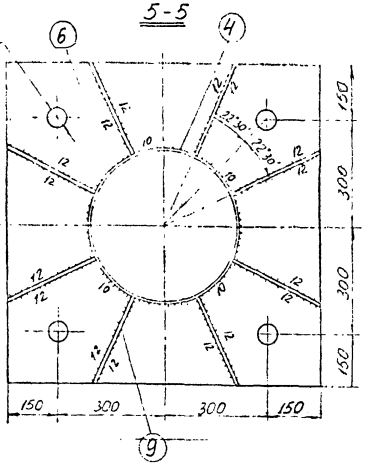
Усилия (тс) в болтах фланцевого соединения при действии испытательных нагрузок на образец II типа.

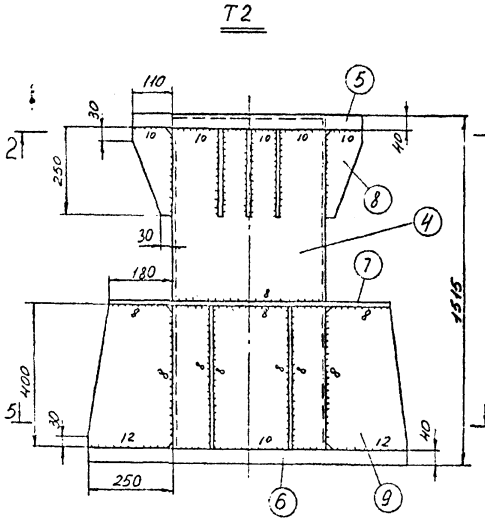
Таблица №4

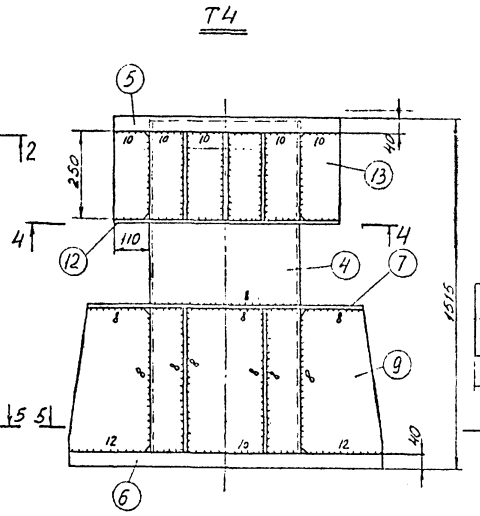
№№ этапов нагружения	% от расчетной нагрузки на образец	Испытательная нагрузка в силовом тросе (тс)		Номера болтов фланцевого соединения (рис. 3)			
		теор. значения	опытные величины	1	2	3	4
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	0	0	0	0	0	0
2	25	1,47	1,5	0	0,30	0	-0,20
3	50	2,93	3,0	0,80	2,60	0	-0,20
4	75	4,40	4,5	3,80	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

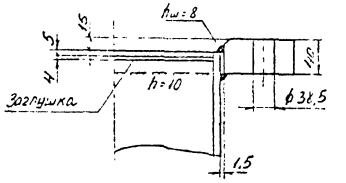


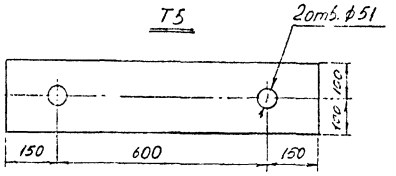


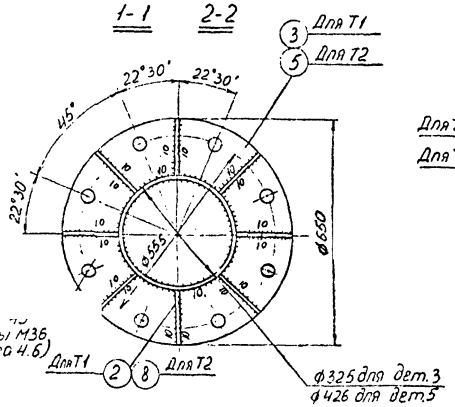


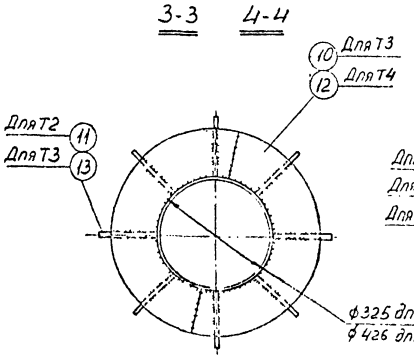


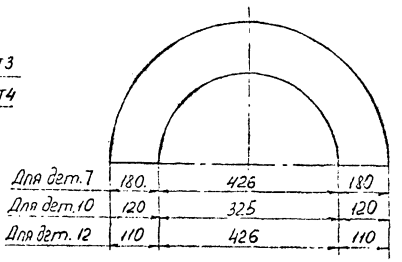


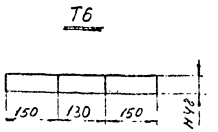












Спецификация

Марка	№№ дет	Сечение	Длина мм	К-во, шт Т	К-во, шт Н	Масса, кг 1дет	Масса, кг Всех	Масса, кг Марки	Примечан.
Т1	1	Труба ф325×8	3000	1		187,6	188	284	
	2	— 160×10	250	8		2,0	16		
	3	— 650×40	650	1		77,6	80		
Т2	4	Труба ф426×10	1500	1		153,9	154	596	
	5	— 650×40	650	1		59,4	59		
	6	— 900×40	900	1		254,3	254		
	7	— 395×12	790	2		16,1	32		
	8	— 110×10	250	8		1,4	11		
	9	— 250×16	400	8		10,8	86		
Т3	Детали 1,3 по марке Т1						268	306	
	10	— 282×10	565	2		6,6	13		
	11	— 160×10	250	8		3,1	25		
Т4	Детали 4,5,6,9 по марке Т2						553	588	
	12	— 325×10	650	2		8,6	17		
	13	— 110×10	250	8		2,2	17		
Т5		— 200×40	900	1		56,5	57	57	
Т6		ф48	430	1		7,8	8	8	

Изготовить

Марка	К-во шт	Масса, кг 1 шт	Масса, кг 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

Примечания:

1. Материал труб - сталь 20; материал остальных деталей - В Ст. 3
2. Электроды типа Э42 по ГОСТ 9467-75.
3. Все угловые сварные швы $h_ш = 6$мм, кроме оговоренных

| | | | | | |