Министерство энергетики и электрификации СССР
ГЛАВНИЙ ПРОЕКТ
Ордена Октябрьской Революции Всесоюзный государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт энергетических систем и электрических сетей
ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ

РУКОВОДСТВО

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПОР И ФУНДАМЕНТОВ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДСТАНЦИЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ВЫШЕ 1 кВ

Раздел 5

ДЕРЕВЯННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Одобрено научно-техническим советом института Энергосетьпроект
„25" ИЮНЯ 1975 года

№ 3340 тм-Т1

МОСКВА 1975

gost.e-ecolog.ru

Ордена Октябрьской Революции ВПИ и НИИ ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ	МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ	
	Руководство по проектированию опор и фундаментов линий электропередачи и распределительных устройств подстанций напряжением выше 1 кВ. Раздел 5 Деревянные конструкции	ЗСП
		Взамен № 1340тм-Т1

Главный инженер института Энергосетьпроект
С.С.Рокотян

Главный инженер Украинского отделения
Г.С.Трофимов

Начальник технического отдела
А.С.Зеличенко

Начальник технического отдела и главный специалист-строитель
Е.А.Кругликов

Главный специалист
Бухарин

Главный инженер проекта
И.А.Власенко

Разработано Украинским отделением института Энергосетьпроект	Согласовано Институтом "Сельэнергопроект" 23 ноября письмом № 7-6/1304	Срок введения в действие "1" III 1977г.
		3340 тм-II

Состав "Руководства"

	Инв.№
I. Общие положения	3534тм-Т1
2. Сочетание нагрузок, нормативные и расчетные нагрузки	3534тм-Т1
3. Стальные конструкции	3534тм-Т2
4. Железобетонные конструкции	3041тм-Т1
5. Деревянные конструкции	3340тм-Т1
6. Основания	3041тм-Т2
7. Свайные фундаменты	3041тм-т3

В разработке участвовали:

Главный специалист по ВП
_____ Ю.К.Кованько

Начальник СПП
_____ А.Е.Боб

Руководитель группы
_____ Т.П.Ганчегко

Руководитель группы
_____ Е.А.Поберезкин

Старший инженер
_____ Е.М.Донец

Старший инженер
_____ В.В.Нежданова

Инженер
_____ Г.Я.Кацман

А Н Н О Т А Ц И Я

Настоящий раздел "Руководства" разработан в развитие главы СНиП II-В.4-71.

В данном разделе приводятся рекомендации по расчету и конструированию деревянных опор ВЛ напряжением выше I кВ до 220 кВ включительно.

Работа выполнена в соответствии с планом нормативных работ Госстроя СССР.

СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА 5

	Стр.
I. Общие положения	I
2. Материал деревянных конструкций и их соединений	2
3. Расчетные характеристики материалов	5
4. Нагрузки	I0
5. Особенности расчета деревянных опор ВЛ	I2
6. Статические расчеты	I5
7. Расчет элементов деревянных конструкций	32
8. Расчет болтовых соединений	37
9. Общие конструктивные требования	43
I0. Основные указания по обеспечению долговечности и капитальности деревянных опор ВЛ	46
II. Примеры расчета деревянных опор	49
Приложение - таблицы	88

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.I.I. Настоящий раздел распространяется на проектирование конструкций деревянных опор воздушных линий электропередачи напряжением выше I кВ и до 220 кВ включительно.

5.I.2. Основными областями применения деревянных опор являются районы, богатые лесом или расположенные вблизи мачтопропиточных заводов.

5.I.3. Конструкции деревянных опор ВЛ проектируются в соответствии с указаниями СНиП II-А.I0-7I, СНиП II-В.4-7I и данного раздела "Руководства".

При пользовании "Руководством" должны учитываться все изменения, вносимые в СНиП после выхода в свет настоящего "Руководства".

5.I.4. Наряду с деревянными приставками (пасынками и сваями) для деревянных опор ВЛ могут применяться железобетонные приставки. Железобетонные приставки рекомендуется применять при неблагоприятных гидрогеологических и климатических условиях, способствующих быстрому гниению древесины, и в районах, подверженных низовым пожарам; в остальных случаях применение железобетонных приставок должно быть технически и экономически обосновано.

5.I.5. Конструкции железобетонных приставок проектируются в соответствии с указаниями СНиП II-2I-75 и раздела 4 настоящего "Руководства".

5.I.6. Деревянные промежуточные опоры могут быть гибкой или жесткой конструкции; анкерные, анкерно-угловые и концевые опоры должны быть жесткой конструкции.

5.1.7. Деревянные опоры ВЛ могут выполняться как с оттяжками, так и без них.

5.1.8. Расчет гибких деревянных промежуточных тросовых опор в аварийном режиме следует производить:

а) при обрыве провода с учетом поддерживающего действия тросов;

б) при обрыве троса с учетом поддерживающего действия проводов.

При обрыве провода в тросовых и бестросовых опорах поддерживающее действие необорванных проводов не учитывается.

2. МАТЕРИАЛ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ИХ СОЕДИНЕНИЙ

5.2.1. Элементы конструкций деревянных опор изготовляются из бревен, полукруглого и пиленого леса хвойных пород - сосны и лиственницы. Для опор ВЛ напряжением ниже 35 кВ допускается применение ели и пихты для всех элементов опор, кроме траверс, подтраверсников, а так же приставок и стоек, заглубляемых в грунт.

Применение ели и пихты для ВЛ 35 кВ может быть допущено только при соответствующем обосновании.

Для изготовления элементов опор ВЛ всех напряжений возможно применение клееной древесины.

Применение элементов из клееной древесины допускается при условии их изготовления на водостойких клеях (например, фенолформальдегидных).

5.2.2. Ответственные деревянные детали соединений элементов деревянных опор (шпонки, нагели) должны изготовляться из

древесины твердых лиственных пород. Эти детали из древесины маслостойких в отношении загнивания пород (береза, бук) должны подвергаться антисептированию.

5.2.3. Для изготовления элементов деревянных опор ВЛ должны применяться бревна не ниже 3-го сорта по ГОСТ 9463-72*.

Для изготовления элементов клееных опор используются пиломатериалы хвойных пород (сосна и лиственница), качество и размеры которых должны соответствовать ГОСТ 9486-66.

Качество древесины в готовых элементах опор в зависимости от категорий элементов, приведенных в СНиП II-В.4-71, должно удовлетворять требованиям этого же СНиП в отношении допустимых пороков.

5.2.4. Древесина должна быть качественно пропитана антисептиком.

При обработке маслянистыми антисептиками древесина заболони элементов должна быть пропитана на глубину не менее 20, а ядровая часть досок, выходящая на поверхность, - не менее 5 мм; норма расхода антисептических масел должна составлять 75-90кг/м^3.

Для получения более глубокой пропитки элементы, изготовленные из труднопропитываемых пород (ядро сосны, ель, пихта, лиственница), следует до пропитки подвергать механическим наколам или производить их естественное или искусственное засинение (для ели и пихты).

Применение непропитанной лиственницы допускается только для северной зоны страны.

При применении для ВЛ бревен лиственницы во всех остальных климатических районах элементы опор следует подвергать пред-

варительно сушке и последующей пропитке маслянистыми антисептиками, обеспечивающими глубокую пропитку заболони; при этом сухая древесина лиственницы (при влажности заболони не выше 25%) может применяться как зимней, так и летней рубки без ограничения.

5.2.5. Влажность древесины перед пропиткой маслянистыми антисептиками для элементов из круглых бревен должна быть не более 25, для пиленого леса - не более 15%.

При пропитке водорастворимыми антисептиками (за исключением диффузионного метода) допускается применять древесину с влажностью более 25, но не более 40%. При диффузионном методе пропитки водорастворимыми антисептиками влажность древесины должна быть не менее 50%.

Во всех случаях готовые, идущие "в дело", элементы деревянных опор из бревен должны иметь влажность не выше 25, а из пиленого леса - не выше 15%.

5.2.6. Плотность (объемная масса) пропитанной антисептиком древесины, независимо от породы, при расчете конструкций опор ВЛ принимается равной 800 кг/м^3.

5.2.7. Для основных расчетных элементов опор (стоек, приставок, траверс, а для угловых опор и сжатых подкосов) диаметр бревен в отрубе должен быть не менее 18 см для ВЛ напряжением 110 кВ и выше и не менее 16 см для ВЛ напряжением 35 кВ и ниже. Однако диаметр приставок (пасынков, свай) опор ВЛ напряжением 35 кВ и ниже должен быть не менее 18 см. Для вспомогательных нерасчетных элементов опор ВЛ всех напряжений диаметр бревен должен быть не менее 14 см.

5.2.8. Величина сбега круглых лесоматериалов (изменение диаметра по длине) при расчете элементов конструкций принимается

0,8 см на I м их длины; для лиственницы сбег следует принимать I см на I м длины.

5.2.9. Материал стальных деталей, оттяжек и метизов для деревянных опор ВЛ назначается в соответствии с "Изменениями и дополнениями главы СНиП II-И.9-62", утвержденными постановлением № 52 Госстроя СССР от I0 апреля 1975 г. и разделом 3 "Руководства.

Оттяжки могут выполняться как из стальных канатов, так и из круглой стали.

5.2.I0. Материал железобетонных приставок (пасынков и свай) назначается в соответствии с указаниями СНиП II-2I-75 и раздела 4 "Руководства".

5.2.II. При применении проволочных бандажей материалом служит мягкая стальная проволока диаметром 4 мм по ГОСТ 3282-74 с покрытием путем оцинковки; допускается применение неоцинкованной проволоки диаметром 5-6 мм со стойкой антикоррозионной защитой.

3. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

5.3.I. Расчетные сопротивления пропитанной заводским способом древесины сосны и ели, независимо от типа проектируемой опоры ВЛ, принимаются по табл.5.I.

Таблица 5.I.

Расчетные сопротивления древесины, сосны и ели в кГ/см^2

Вид напряженного состояния и характеристика элементов	Обозначение	Расчетное сопротивление при нормальном режиме		при аварийном режиме
		ветровом	гололедном или низшей температуре	
I. Изгиб: а) все элементы, за исключением указанных в подпунктах "б" и "в"	$R_и$	I30	I60	2I0

Продолжение табл.5.I

Вид напряженного состояния и характеристика элементов	Обозначение	Расчетное сопротивление при нормальном режиме: ветровом	Расчетное сопротивление при нормальном режиме: гололедном или низшей температуре	Расчетное сопротивление при аварийном режиме
б) элементы прямоугольного сечения с размерами сторон I4 см и более при высоте сечения до 50 см	$R_и$	I50	I85	240
в) элементы из круглых лесоматериалов, не имеющие врезок в расчетном сечении	$R_и$	I60	I95	260
2. Растяжение вдоль волокон:				
а) элементы, не имеющие ослабления в расчетном сечении	$R_р$	I00	I20	I60
б) элементы, имеющие ослабление в расчетном сечении	$R_р$	80	I00	I30
3. Сжатие и смятие вдоль волокон	$R_р, R_{см}$	I30	I60	2I0
4. Сжатие и смятие по всей поверхности поперек волокон	$R_{с90}$ $R_{см90}$	I8 2I	22 24	29 34
5. Смятие местное поперек волокон:				

Продолжение табл.5.I

Вид напряженного состояния и характеристика элементов	Обозначение	Расчетное сопротивление при нормальном режиме: ветровом	Расчетное сопротивление при нормальном режиме: гололедном или низшей температуре	Расчетное сопротивление при аварийном режиме
а) в опорных плоскостях конструкций	$R_{см90}$	28	33	45
б) в лобовых врубках	$R_{см90}$	36	4I	56
в) под шайбами при углах смятия от 90° до 60°	$R_{см90}$	48	54	75
6. Скалывание вдоль волокон при изгибе и в соединениях (для максимального напряжения)	$R_{ск}$	24	29	39
7. Скалывание поперек волокон (для максимального напряжения)	$R_{ск90}$	I2	I5	I9

Примечания: I. Расчетное сопротивление древесины местному смятию поперек волокон на части длины (при длине незагруженных участков не менее длины площадки смятия и толщины элементов), за исключением случаев, оговоренных в п.5 данной таблицы, определяются по формуле:

$$R_{см} = R_{с90}\left(1 + \frac{8}{l_{см}+1,2}\right), \qquad (5.I)$$

где $R_{с90}$ - расчетное сопротивление древесины сжатию и смятию по всей поверхности поперек волокон (п.4 данной таблицы);

$\ell_{см}$ – длина площадки смятия вдоль волокон древесины в см.

2. Расчетное сопротивление древесины смятию под углом α к направлению волокон определяют по формуле (5.2) или графику на рис.1 СНиП II-В.4-71

$$R_{см\alpha} = \frac{R_{см}}{1 + \left(\frac{R_{см}}{R_{см\,90}} - 1\right) \sin^3 \alpha}, \qquad (5.2)$$

3. Расчетное сопротивление древесины скалыванию под углом α к направлению волокон определяют по формуле

$$R_{ск\alpha} = \frac{R_{ск}}{1 + \left(\frac{R_{ск}}{R_{ск\,90}} - 1\right) \sin^3 \alpha}, \qquad (5.3)$$

4. Расчетное среднее по площадке скалывания сопротивление древесины в соединениях $R_{ск}^{ср}$ определяют в соответствии с разделом 5 СНиП II-В.4-71. Разрешается принимать расчетное среднее сопротивление скалыванию древесины сосны и ели в лобовых врубках $R_{ск}^{ср} = 12$ кг/см^2 при учете длины скалывания не более двух толщин брутто элемента и 10 глубин врезки.

5. Расчетное сопротивление изгибу элементов из круглых лесоматериалов, имеющих врезки в расчетном сечении, принимается как для элементов прямоугольного описанного сечения соответствующих размеров в месте ослабления.

6. В конструкциях построечного изготовления величины расчетных сопротивлений на растяжение, принятые по п.2"а" и "б" данной таблицы, снижаются на 30%.

5.3.2. Для древесины других пород, для непропитанной древесины лиственницы и для гнутых элементов конструкций опор ВЛ расчетные сопротивления принимаются по табл.1 данного раздела "Руководства" с умножением на коэффициенты, приведенные в табл.9, 10 и 12 СНиП II-В.4-71.

5.3.3. Расчетные сопротивления древесины элементов при расчете на постоянные и временные длительные нагрузки определяются путем умножения расчетных сопротивлений, приведенных в табл.I в графе "без гололеда", на коэффициент условий работы 0,8 в тех случаях, когда усилия в элементах и соединениях, возникающие от расчетной постоянной и временной длительной нагрузок, превышают 0,8 расчетной полной нагрузки.

К постоянным и временным длительным нагрузкам при этом следует относить нагрузки, указанные в разделе 2 "Руководства".

5.3.4. При расчете деревянных конструкций опор ВЛ в монтажном режиме расчетные сопротивления древесины сосны и ели принимаются по табл.I как при нормальном гололедном режиме работы.

5.3.5. При расчете опор ВЛ из клееной древесины расчетные сопротивления умножаются на коэффициент условий работы $m_к$ конструкций опор ВЛ из клееной древесины, равный 1,15.

5.3.6. Модуль упругости древесины вдоль волокон, независимо от породы древесины, принимается $E=85000$ кГ/см^2.

5.3.7. Расчетные сопротивления стали, сварных соединений и швов, болтовых соединений стальных деталей и физические характеристики стали и стальных канатов принимаются по изменениям и дополнениям СНиП II-В.3-72 и разделу 3 "Руководства". СНиП II-И.3-62,

При этом, расчетные сопротивления стали растяжению принимаются как для конструкций, эксплуатация которых после достижения металлом предела текучести невозможна.

5.3.8. Расчетные сопротивления и физические характеристики бетона и железобетона принимаются по СНиП II-21-75 и разделу 4 "Руководства".

5.3.9. Расчетные сопротивления стали для расчета тяжей оттяжек из круглого проката, анкерных тяг для крепления оттяжек, работающих на растяжение, в ненарезанной части следует принимать, как для прокатной стали соответствующей марки, а в нарезанной части - как для болтов. При расчете двойных и тройных оттяжек, тяг и тяжей, вводится коэффициент $m = 0,85$.

4. НАГРУЗКИ

5.4.1. Нагрузки на деревянные опоры определяются согласно указаниям раздела 2 данного "Руководства".

5.4.2. Вес круглого леса приведен в приложении к настоящему разделу "Руководства".

5.4.3. При расчете деревянных опор динамическая составляющая ветровой нагрузки не учитывается, за исключением промежуточных свободностоящих (одностоечных и портальных без ветровых связей) опор на железобетонных приставках.

5.4.4. Аэродинамический коэффициент "С" (коэффициент лобового сопротивления) для элементов из круглого леса в зависимости от среднего диаметра элемента и скоростного напора ветра принимается по табл.5.2.

Таблица 5.2

Аэродинамические коэффициенты "С"

Средний диаметр элемента, см	Значение "С" при нормативном скоростном напоре ветра q^0, кГ/м^2							
	7	14	20	30	40	50	65	80 и более
16-17	1,2	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
18		1,1				0,6	0,5	

Продолжение табл.5.2

Средний диаметр элемента, см	Значение "C" при нормативном скоростном напоре ветра $q^н$, кГ/м²							
	7	14	20	30	40	50	65	80 и более
19	1,2	1,1	1,0	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5
20			0,9			0,5		
21-22		1,0		0,7	0,6			
23-25	1,1	0,9	0,8	0,6	0,5			
26-27		0,8	0,7	0,5				
28	1,0		0,6					
29-30		0,7						
31			0,5					
32-34	0,9							

Примечания: 1. Значения C^a определены в соответствии с СНиП II-А.11-72 в зависимости от числа Рейнольдса, которое определяется по формуле

$$R_e = \frac{v d}{\nu}, \qquad (5.4)$$

где v - учитываемая в расчете скорость ветра в м/сек,

d - средний диаметр элемента в м;

ν - кинематическая вязкость воздуха.

Скорость ветра в зависимости от нормативного скоростного напора определяется по формуле

$$v = 4\sqrt{q^н}, \qquad (5.5)$$

2. При других скоростных напорах значение С определяется линейной интерполяцией.

5.4.5. Аэродинамический коэффициент С для элементов прямоугольного сечения определяется по СНиП II-6-74.

5. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР ВЛ

5.5.1. Расчет деревянных конструкций опор ВЛ производится только по предельным состояниям первой группы (по прочности и устойчивости) на расчетные нагрузки.

Целью расчета является обеспечение несущей способности (прочности и устойчивости) конструкций опор в возможных неблагоприятных условиях их работы в период монтажа и эксплуатации ВЛ.

Расчет железобетонных приставок производится по первой и второй группам предельных состояний.

5.5.2. Усилия в элементах и соединениях деревянных конструкций определяются в предположении упругой работы древесины.

5.5.3. Опоры ВЛ из клееной древесины рассчитываются согласно указаниям СНиП II-В.4-71 и указаниям настоящего раздела "Руководства".

5.5.4. Одностоечные и плоские п-образные свободно - стоящие опоры без ветровых связей в нормальном и аварийном (обрыв провода) режимах работы ВЛ и опоры с ветровыми связями в режиме обрыва провода рассчитываются как гибкие консоли, жестко защемленные нижним концом в грунте, на суммарный изгибающий момент от горизонтальных и вертикальных

нагрузок (с учетом отклонения опоры под действием горизонтальных нагрузок и неуравновешенного изгибающего момента от несимметрично приложенных вертикальных нагрузок).

5.5.5. Для промежуточных опор с расстоянием от земли до нижней траверсы более 10 м жесткую заделку рекомендуется принимать: а) при отсутствии верхнего ригеля - ниже уровня грунта на расстоянии „Уо" определяемом по табл.5.4;

б) при наличии верхнего ригеля - на уровне оси верхнего ригеля.

Для опор с расстоянием от земли до нижней траверсы менее 10 м защемление стоек допускается принимать на уровне грунта.

Таблица 5.4

Значение „Уо" для промежуточных опор ВЛ без верхнего ригеля

Типы конструкции промежуточных опор	Значение „Уо" для опор с габаритом до нижней траверсы, м			
	от 10 до 15 м		от 15 до 20 м	
	при режимах работы ВЛ			
	нормальных	аварийном	нормальных	аварийном
Плоские портальные с ветровыми связями	-	0,4	-	0,75
Плоские портальные без ветровых связей и одностоечные	0,4	0,4	0,75	0,75

5.5.6. Нагрузки от ветра на провода, тросы и конструкцию опоры в нормальном режиме работы ВЛ распределяются поровну между стойками промежуточных портальных опор.

5.5.7. Величина нагрузки, приходящейся на ближайшую от оборванного провода стойку портальных промежуточных свободностоящих опор без тросов, в аварийном режиме при обрыве крайней фазы, принимается:

- для опор без ветровых связей - равной тяжению провода;

- для опор с высотой до траверсы ($H_{тр}$) до 15 м с крестовой ветровой связью высотой ≥ 4 м, расположенной ниже траверсы на расстоянии на более $\frac{1}{3} H_{тр}$ - равной 75% от тяжения провода; при этом в месте пересечения крестовых связей необходима установка стяжного болта.

В остальных случаях для опор с ветровыми связями величина данной нагрузки должна определяться опытным путем.

5.5.8. Для опор, у которых стойки могут рассматриваться как жесткие конструкции, усилие от обрыва провода, приходящееся на одну стойку, определяется как опорная реакция свободно лежащей балки (траверсы), опорами для которой являются стойки (например, АП-образные опоры плоские промежуточные опоры с тросами с учетом поддерживающего действия троса при обрыве провода и т.п.).

5.5.9. Нагрузки на стойку от веса проводов с гирляндами и тросов (при наличии тросовой траверсы) определяются как опорные реакции свободно лежащей балки (траверсы), опорами для которой служат стойки.

5.5.10. При расчете конструкций деревянных опор рекомендуется принимать следующее направление ветра:

- для опор из круглого леса под углом 90^0 к оси ВЛ или по биссектрисе внутреннего угла поворота трассы ВЛ;

- для опор из элементов прямоугольного сечения - под углом 90^0 и 45^0 к оси ВЛ.

6. СТАТИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Промежуточная одностоечная опора

Одностоечные деревянные опоры с точки зрения статики их расчета в нормальном режиме работы ВЛ представляют собой гибкие консоли, жестко защемленные нижним концом в грунте. Под действием системы горизонтальных и вертикальных нагрузок опора деформируется.

Расчет опоры производится по деформированной схеме с учетом изгибающих моментов от вертикальных нагрузок на стрелках прогибов, вызванных горизонтальными нагрузками и неуравновешенным изгибающим моментом от несимметрично приложенных вертикальных нагрузок.

Расчетная схема опоры приведена на рис.5.I.

Нормальный режим | Аварийный режим: опора без троса | опора с тросом

Эпюра M Эпюра M Эпюра M

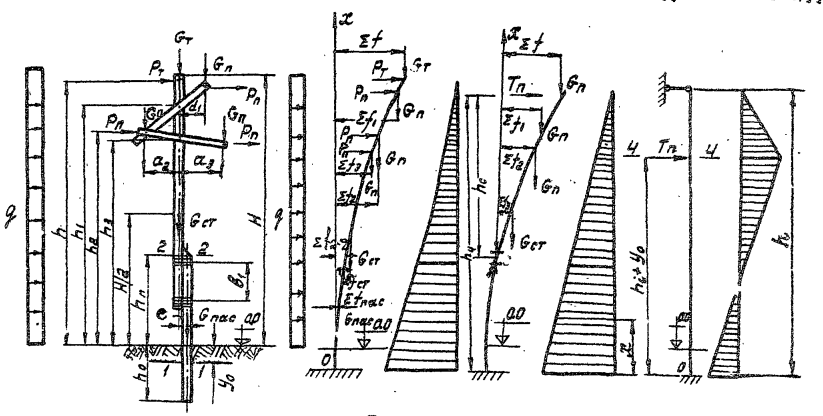


Рис.5.I

НОРМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ВЛ

Изгибающий момент в сечении I-I пасынка

$$M_{I-I} = P_n(h_1+h_2+h_3+3y_0)+P_T(h+y_0)+qH\left(\frac{H}{2}+y_0\right)+ \\ +G_n(a_1+a_3-a_2)+G_n(\Sigma f_1+\Sigma f_2+\Sigma f_3)+G_T\Sigma f+G_{cm}\Sigma f_{cm}+ \\ \pm G_{пас}\Sigma f_{пас}=(3\cdot G_n+G_T+G_{ст})e, \qquad (5.6)$$

где P_n, P_T, – давление ветра на провод и трос;

q – приведенная равномерно распределенная ветровая нагрузка на конструкцию опоры;

G_n, G_T, $G_{ст}$, $G_{пас}$ – вес проводов, тросов, стойки с траверсами и пасынка;

y_0 – расстояние от поверхности грунта до точки, соответствующей наибольшему изгибающему моменту (т.е.до плоскости защемления);

Σf – суммарные прогибы стойки от расчетных горизонтальных нагрузок, неуравновешенного момента от веса проводов и проворота опоры в грунте.

Изгибающий момент в сечении 2-2 стойки

$$M_{2-2}=P_n(h_1+h_2+h_3-3h_n)+P_T(h-h_n)+\frac{q(H-h_n)^2}{2}+ \\ +G_n(a_1+a_3-a_2)+G_n(\Sigma f_1+\Sigma f_2+\Sigma f_3-3\Sigma f_{2-2})+ \\ +G_T(\Sigma f-\Sigma f_{2-2})+G_{ст}(\Sigma f_{cm}-\Sigma f_{2-2}), \qquad (5.7)$$

Прогибы опоры определяются по следующим формулам:

прогиб опоры в точке с текущей координатой x от силы P, приложенной в точке на высоте h_i

ниже точки приложения P ($x \le h_i$)

$$f_{px}=\frac{P_x^2}{6EJ_{пр}}(3h_i-x), \qquad (5.8)$$

выше точки приложения P ($x \ge h_i$)

$$f_{px}=\frac{Ph_i^2}{6EJ_{пр}}(3x-h_i), \qquad (5.9)$$

прогиб опоры в точке с текущей координатой x от равномерно распределенной по высоте опоры Н нагрузки q

$$f_{qx} = \frac{q x^2}{24 E J_{пр}} (x^2 - 4Hx + 6H^2), \qquad (5.10)$$

прогиб опоры в точке с текущей координатой x при действии постоянного момента М от неуравновешенных весовых нагрузок, приложенного на высоте h_i над сечением I-I ниже точки приложения М ($x \leq h_i$)

$$f_{Mx} = \frac{M x^2}{2E J_{пр}}, \qquad (5.11)$$

выше точки приложения М ($x \geq h_i$)

$$f_{Mx} = \frac{M x^2}{2E J_{пр}} \left[2 \frac{h_i}{x} - \left(\frac{h_i}{x} \right)^2 \right], \qquad (5.12)$$

В формулах (5.8)-(5.12) $J_{пр}$ - приведенный момент инерции сечения стойки, определяемый с учетом сбега древесины (см.стр.33).

Прогиб опоры в точке x при действии наибольшего изгибающего момента от проворота в грунте определяется по формуле

$$f_{xx} = 0{,}01X \qquad (5.13)$$

Для упрощения расчетов допускается при определении прогиба стоек одностоечных промежуточных опор ветровые нагрузки на провода заменить их равнодействующей, расположенной на высоте h_R

$$h_R = \frac{\sum P_i h_i}{\sum P_i}, \qquad (5.14)$$

АВАРИЙНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ВЛ

(Оборван провод, дающий максимальный изгибающий момент в расчетных сечениях).

При наличии грозозащитного троса опора в режиме обрыва

провода представляет собой с точки зрения статического расчета однопролетную балку с одним защемленным и другим шарнирно опертым концом. Изгибающие моменты определяются без учета влияния моментов от вертикальных сил по стрелкам прогибов.

Максимальный изгибающий момент в опоре, по которому рассчитывается стойка, действует в сечении 4-4 (на уровне действующей на стойку нагрузки от обрыва провода) и определяется по формуле

$$M_{4-4} = \frac{T_n (h_i + y_0)^2}{2(h + y_0)^3} (3h - h_i + 2y_0)(h - h_i), \qquad (5.15)$$

где T_n – расчетное тяжение по проводу при обрыве.

Изгибающий момент в сечении I-I пасынка

$$M_{1-1} = \frac{T_n (h_i + y_0)(h - h_i)(2h - h_i + y_0)}{2(h + y_0)^2}. \qquad (5.16)$$

При отсутствии грозозащитного троса опора превращается в гибкую консоль, нагруженную у свободного конца силой T_n. Максимальное значение изгибающего момента ~~в сечениях~~ достигается при обрыве верхнего провода.

Под действием тяжения по проводу T_n опора изгибается, проворачивается в грунте, а стойка, кроме того, проворачивается относительно пасынка, если их соединение выполнено на бандажах.

Прогибы стойки от изгиба и проворота в грунте определяются по формулам (5.8)-(5.13).

Прогиб стойки в точке с текущей координатой x от проворота в бандаже при $x > h_n - \frac{b_1}{2} + y_0$ определяется по формуле

$$f_{6x} = \frac{T_n K_n}{h_c} \left(x - h_n + \frac{b_1}{2} - y_0\right), \qquad (5.17)$$

где Кн – коэффициент неупругого проворота стойки за счет податливости бандажного соединения со стягивающими болтами:

при одном пасынке на ногу $Кн=15x10^{-8} h_c^2$ см/кГ;

при двух пасынках на ногу $Кн=7,5x10^{-8} h_c^2$ см/кГ,

где h_c - расстояние в см от точки приложения к стойке нагрузки до середины бандажного соединения (т.е.до оси поворота стойки относительно пасынка).

Изгибающий момент в точке опоры с координатой x

$$M_x = T_n(h_4 - x) + \Sigma G_i f_i , \qquad (5.18)$$

где: $\Sigma G_i f_i$ - суммарный изгибающий момент от весовых нагрузок по стрелкам прогибов; *прогибы f_i определяются относительно сечения в точке x.*

Промежуточная портальная опора без ветровых связей

Расчет плоских промежуточных портальных свободностоящих опор без ветровых связей производится аналогично одностоечным свободностоящим опорам на нагрузки от проводов, тросов, ветра на конструкцию, приходящиеся на каждую ногу опоры.

Промежуточная портальная опора с крестовой ветровой связью

Плоская свободностоящая промежуточная портальная опора с крестовыми ветровыми связями без тросов и с тросами при расчете в плоскости портала представляет собой статически неопределимую систему.

Расчетная схема опоры приведена на рис.5.2.

Расчетная схема стойки

Эпюра М

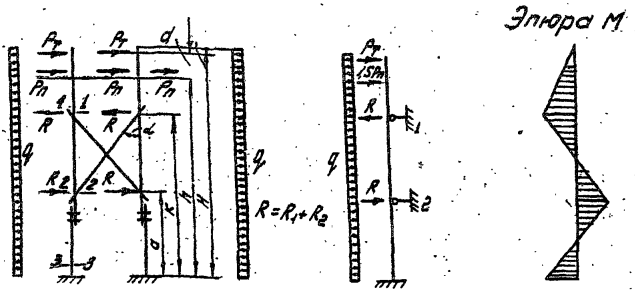


Рис.5.2

На основании ряда испытаний и исследований работы опор рекомендуется расчет опор производить с учетом упругих деформаций элементов и податливости узлов по следующим формулам:

а) для опор с габаритом до траверсы h до 13 м, с ветровой связью высотой 0,3-0,4 h, расположенной ниже траверсы на расстоянии 0.2-0.35 h

$$R_1 = \frac{3[1.5P_n h + P_T(h+d)](K^2-2a^2)-(1.5P_n+P_T)(K^3-2a^3)}{2K^3-9a^2K+7a^3}; \quad (5.19)$$

$$R_2 = q\,\frac{1.5H^2(K^2-2a^2)-H(K^3-2a^3)+0.25(K^4-2a^4)}{2K^3-9a^2K+7a^3}, \quad (5.20)$$

где R_1 – реакция в точках крепления ветровой связи к стойкам от ветровой нагрузки на провода (P_n) и тросы P_T;

R_2 – то же от ветровой нагрузки на конструкцию опоры;

б) для опор с габаритом до траверсы ~ 15 м, с ветровой связью высотой 0.25-0.35h, расположенной ниже траверсы на расстоянии 0.15-0.3 h

$$R_1 = \frac{1.5[1.5P_n h + P_T(h+d)](K+a)-(1.5P_n+P_T)(K^2+aK+a^2)0.5}{K^2+a\cdot K-2a^2}; \quad (5.21)$$

$$R_2 = 0.5q\,\frac{1.5H^2(K^2-a^2)-H(K^3-a^3)+0.25(K^4-a^4)}{K^3-3a^2K+2a^3}. \quad (5.22)$$

Изгибающий момент в сечении I-I

$$M_{I-I} = P_T (h+d-K)+1,5P_n(h-K)+\frac{q}{2}(H-K)^2 \qquad (5.23)$$

Изгибающий момент в сечении 2-2

$$M_{2-2} = P_T(h+d-a)+1,5P_n(h-a)+\frac{q}{2}(H-a)^2-R(K-a) \qquad (5.24)$$

Изгибающий момент в сечении 3-3

$$M_{3-3} = K_3\left[P_T(h+d)+1,5P_n h+\frac{q}{2}H^2-R(K-a)\right], \qquad (5.25)$$

$K_3 = 1,2$ - коэффициент, учитывающий неравномерное распределение нагрузок по пасынкам у поверхности земли, определен опытным путем.

Продольные усилия в стойках ниже сечения I-I определяются с учетом вертикальной составляющей реакций связей, равной

$$N = \frac{2R}{4q\alpha} \qquad (5,26)$$

Для расчета опор с габаритами, размерами и положением крестовой ветровой связи, отличающимися от приведенных на стр. 21 расчетные формулы для R_1 и R_2 должны определяться в зависимости от соотношения величин деформаций стоек на уровне крепления раскосов, устанавливаемых опытным путем, от действия горизонтальных нагрузок.

Применение для расчета общих методов статики не рекомендуется, так как дает заниженные сечения пасынков и завышенные значения продольных усилий в заделке.

В режиме обрыва провода опоры рассчитываются аналогично одностоечным.

Распределение нагрузок между стойками опоры от обрыва провода принимается в соответствии с п.п.5.5.7 и 5.5.8.

Угловая промежуточная опора

Опора представляет собой плоскую свободностоящую конструкцию, жесткую в плоскости портала. Расчетная схема опоры приведена на рис.5.3.

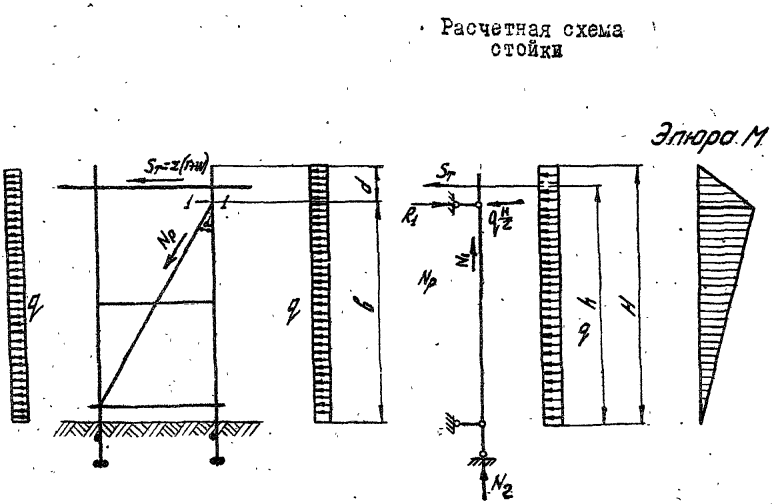


Рис.5.3.

При нормальном режиме работы ВЛ поперечные нагрузки состоят из суммы составляющих вдоль траверсы от тяжения по проводам T, ветровых нагрузок на провода W и, кроме того, ветровой нагрузки на конструкцию опоры q.

Наиболее нагружена растянутая стойка, представляющая собой консольную однопролетную балку, опорами для которой является подкос и уровень земли.

Реакция на уровне крепления подкоса от горизонтальных нагрузок вдоль портала

$$R_1 = \frac{S_T h}{\beta} + qH \qquad (5.27)$$

~~При определении R_1 в запас прочности учитывается ветровая нагрузка, действующая на обе стойки опоры.~~

Изгибающий момент в расчетном сечении стойки I-I (без учета ветровой нагрузки на конструкцию ввиду ее незначительности)

$$M_{1-1} = S_T(h-b) \qquad (5.28)$$

Продольное усилие в стойке

$$N_1 = \frac{R_1}{tg\alpha} - R_2 - q_{оп}, \qquad (5.29)$$

где R_2 – опорная реакция траверсы от весовых нагрузок;

$q_{оп}$ – вес конструкции опоры, приходящийся на растянутую стойку.

Схема для расчета приставки в сечении 2-2 приведена на рис.5.4.

где N_2 – суммарное продольное усилие в стойке на уровне соединения с приставкой



Рис.5.4

Определение напряжения в наиболее нагруженных сечениях стойки и пасынка производится по формулам СНиП II-В.4-71, как для растянуто-изогнутых стержней.

Если конструкция угловой – промежуточной опоры проектируется с растянутым подкосом, расчетной остается более жесткая стойка, которая становится сжатой.

Выполняются соответствующие проверки. Усилие в подкосе определяется по формуле

$$N_{\text{п}} = \frac{R_1}{\sin\alpha}, \qquad (5.30)$$

Подкос проверяется на устойчивость; гибкость подкоса проверяется в двух плоскостях.

В режиме обрыва провода расчет производится как плоской промежуточной опоры без тросов, при этом на ближайшую от оборванного провода стойку приходится 90% обрывного усилия по проводу (0,9 Тп).

Анкерные опоры

Анкерные опоры всех видов и назначений должны обладать жесткостью вдоль линии.

На рис.5.5. представлена А-образная рама, которая может быть рамой А-образной анкерной опоры или А-образной плоскостью трехногой анкерно-угловой опоры.

Эпюры изгибающих моментов в растянутой стойке

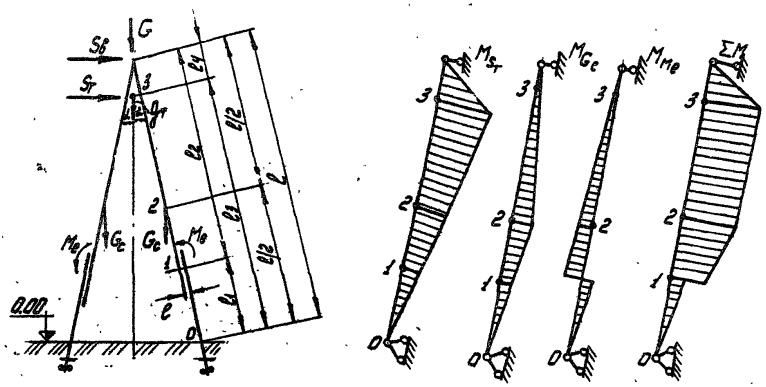


Рис. 5.5

На конструкцию действуют следующие нагрузки: силы $S_в$ и G – приложенные к вершине, силы $S_т$ и $g_т$ – приложенные к траверсе, силы G_c – собственный вес стоек.

Моменты M_e вызываются эксцентриситетом соединения стойки с пасынком $M_e = Ne$,

где N – продольное усилие в стойке.

Стойка рассматривается как свободнолежащая балка, шарнирными опорами для которой служат поверхность земли и нижний болт соединения стоек в "азике" или шарнир в "азике".

Продольное усилие в стойке определяется по формуле

$$N = -\frac{G + g_т + 2G_c}{2\cos\alpha} + \frac{S_в + S_т\frac{l_4}{l}}{2\sin\alpha}, \qquad (5.31)$$

где знак минус – сжатие, знак плюс – растяжение.

Под влиянием сил $S_т$, G_c и момента M_e в стойках возникают изгибающие моменты, величина которых меняется по длине стойки.

Отдельные эпюры и суммарная эпюра изгибающих моментов в растянутой стойке приведены на рис.5.5. Отдельные эпюры сжатой стойки имеют аналогичный вид, но суммарные моменты меньше, что видно из следующих формул для определения ординат эпюр в точках перелома очертания эпюр:

Точка 3

$$M_3 = S_т\frac{l_4 l_3}{2l}\cdot\cos\alpha \mp G_c\frac{l_4}{2}\sin\alpha \mp M_e\frac{l_4}{l}, \qquad (5.32)$$

Точка 2

$$M_2 = \frac{S_т l_4}{4}\cos\alpha \mp G_c\frac{l}{4}\sin\alpha \pm \frac{M_e}{2}, \qquad (5.33)$$

Точка I (со стороны участка 2–I)

$$M_1 = S_т\frac{l_4 l_2}{2l}\cos\alpha \mp G_c\frac{l_2}{2}\sin\alpha \mp M_e\frac{l_2}{l}, \qquad (5.34)$$

Точка I (со стороны участка С-I)

$$M_1 = S_T \frac{e_y l_1}{2e} \cos\alpha \mp G_c \frac{l_1}{2} \sin\alpha \pm M_e \frac{l_1}{l_c} \qquad (5.35)$$

Для расчета приставки принимается, что она защемлена в грунте

$$M = N \cdot e,$$

где N - продольное усилие в стойке;

верхний знак относится к сжатой стойке, нижний - к растянутой.

При учете ветровой нагрузки на конструкцию, изгибающий момент от равномерно распределенной нагрузки q алгебраически суммируется с остальными моментами, причем знак при M_q принимается таким же, как при M_{S_T}.

В случае установки между точками 2 поперечины, в формулах (5.32)-(5.35) принимается $G_c = 0$.

Анкерно-угловая трехногая опора представляет собой А-образную раму с подкосом в плоскости, перпендикулярной плоскости рамы.

Схема опоры при расчете в нормальном режиме работы ВЛ с подкосом, установленным по биссектрисе угла поворота трассы, приведена на рис. 5.6.

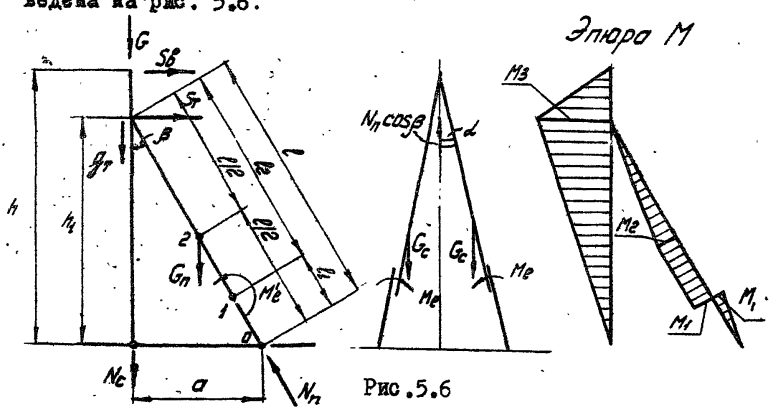


Рис.5.6

Статический расчет опоры выполняется в следующем порядке: определяется усилие в подкосе от нагрузок, действующих нормально к плоскости рамы;

реакция подкоса $N_n \cos\beta$ прикладывается как нагрузка к А-образной раме, которая с учетом действия момента M_y рассчитывается по формулам (5.32)(5.35).

Усилие в подкосе определяется по формуле

$$N_n = \frac{S_B \frac{h}{h_1} + S_T}{\sin\beta}, \qquad (5.36)$$

Подкос изгибается под действием собственного веса и момента от эксцентричного присоединения подкоса к пасынку.

Изгибающий момент в точке 2

$$M_2 = \frac{G_n \sin\beta}{4} \ell + \frac{M'e}{2} \qquad (5.37)$$

Изгибающий момент в точке I со стороны участка 2-I

$$M_1 = \frac{G_n \sin\beta}{2} \ell_1 + \frac{M'e}{\ell} \cdot \ell_2; \qquad (5.38)$$

со стороны участка 0-I

$$M_1 = \frac{G_n \sin\beta}{2} \ell_1 - \frac{M'e}{\ell} \ell_1. \qquad (5.39)$$

Если на уровне точки 2 установлена обвязка, то момент от веса подкоса учитывать не следует, а момент при эксцентричном соединении подкоса с пасынком на участке 0-2 принимается равным

$$M = \frac{M'e}{2} \qquad (5.40)$$

При расчете А-образной рамы продольные усилия в стойках определяются по формуле

$$N = \frac{G + g_T + 2G_c \mp N_n \cos\beta}{2\cos\alpha} \qquad (5.41)$$

Нагрузка $S_в$ вызывает в стойках А-образной рамы изгибающий момент

$$M_з = S_в (h - h_1) . \qquad (5.42)$$

На одну стойку приходится часть этого момента, равная

$$M_{Sв} = \frac{S_в (h - h_1)}{2 \cos \alpha} . \qquad (5.43)$$

Моменты от нагрузки в А-образной плоскости и от силы $S_в$ действуют во взаимно перпендикулярных плоскостях. Элементы круглого сечения следует рассчитывать по равнодействующему моменту, определяемому по формуле

$$M_\Sigma = \sqrt{M_н^2 + M_{Sв}^2} , \qquad (5.44)$$

где $M_н$ - момент от нагрузки, действующей в плоскости рамы,

$M_{Sв}$ - момент от силы $S_в$, приходящейся на одну стойку.

При аварийном режиме работы ВЛ расчет А-образной рамы трехногой опоры ведется по формулам (5.31)-(5.35), при этом, если обрывное усилие приложено к вершине (обрыв верхнего провода или обрыв троса) $S_т = 0, S_в = T_т$ (обрывное усилие); если обрывается провод на уровне траверсы - $S_в = 0, S_т = T_т$.

При действии нагрузок в двух плоскостях (угол поворота трассы $\beta > 0^\circ$) расчет ведется по формулам (5.31-5.35) в плоскости А, и по формулам (5.39)-(5.43) в плоскости подкоса; сечения рассчитываются на равнодействующие моменты, определяемые по формуле (5.44) и суммарные продольные силы.

Анкерно-угловая АП-образная опора

Опора представляет собой две А-образные рамы, соединенные траверсой и диафрагмой жесткости, причем в П-образной плоскости установлены раскосы.

В плоскости П опора рассматривается как защемленная на уровне верхних ригелей в грунте рама, жестким верхним ригелем которой является решетка опоры. Расчетная схема опоры приведена на рис.5.7.

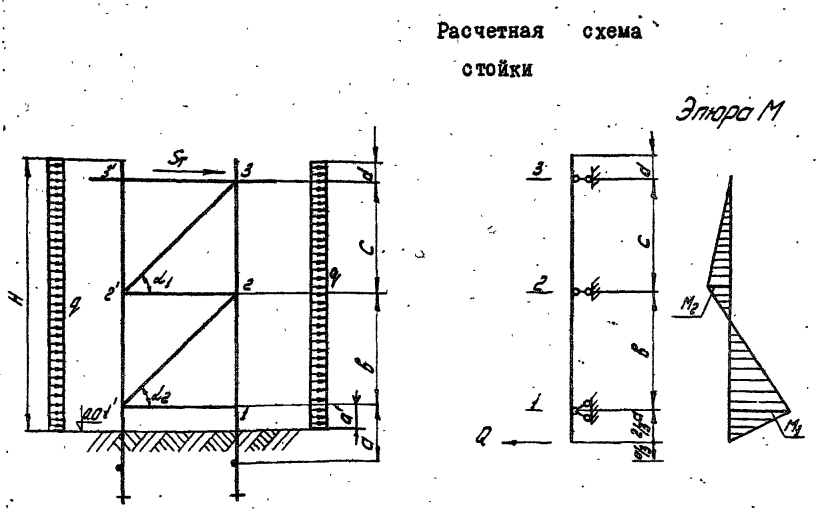


Рис. 5.7

Размеры H, a, в, c, d, приведенные на рис.5.7, определяются по наклону; a – высота рамы.

В точке нулевых моментов рамы, на расстоянии I/3a от защемления, приложена горизонтальная сила, равная перерезывающей силе, приходящейся на одну ногу, Перерезывающая сила определяется по формуле

$$Q = 0{,}25 S_T + qH, \qquad (5.45)$$

где S_T – суммарная расчетная нагрузка на опору от ветра на провода и составляющей вдоль траверсы от тяжения по проводам $S_T = \Sigma(W+T)$,

q - расчетная ветровая нагрузка на опору, приходящаяся на одну стойку.

При расчете стойка рассматривается в виде консольной многопролетной балки (на рис. 5.7 - двухпролетная) с опорами в местах установки траверс и поперечин. Длина консоли принимается равной 2/3а. На конце консольной части балки приложена перерезывающая сила Q.

Изгибающий момент в сечении I определяется по формуле

$$M_I = Q \frac{2}{3} a, \qquad (5.46)$$

Изгибающие моменты в остальных сечениях определяются как моменты многопролетной балки.

При в=с, $M_2 = 0{,}25\, M_I$.

При установке стойки на один пасынок в сечениях стойки и пасынка возникают дополнительные изгибающие моменты, определяемые как произведение суммарного продольного усилия в стойке на эксцентриситет осей стойки и пасынка.

Решетка опоры представляет собой плоскую статически определимую ферму. Узловые нагрузки определяются по формулам:

$$W_3 = W_3' = \frac{Sr}{4} + q\,\frac{(c+2d)}{2}; \qquad (5.47)$$

$$W_2 = W_2' = \frac{q(b+c)}{2}; \qquad (5.48)$$

$$W_1 = W_1' = \frac{q(b+d')}{2}. \qquad (5.49)$$

Продольные усилия в панелях стойки опоры определяются по формулам:

$$N_{2'-1'} = N_{3-2} = 2W_3 \operatorname{tg}\alpha_1; \quad N_{3'-2'} = 0; \qquad (5.50), (5.51)$$

$$N_{2-1} = 2W_3 \operatorname{tg}\alpha_1 + 2(W_2 + W_3)\operatorname{tg}\alpha_2. \qquad (5.52)$$

Усилие в решетке:

$$N_{3\text{-}3} = W_3;\quad N_{2\text{-}2} = 2W_3 + W_2;\quad N_{1\text{-}1} = 2W_3 + 2W_2 + W_1;$$

$$N_{3\text{-}2'} = \frac{2W_3}{\cos\alpha_1};\quad N_{2\text{-}1'} = \frac{2(W_2 + W_3)}{\cos\alpha_2}. \qquad (5.53)\text{-}(5.57)$$

Металлические раскосы могут иметь предварительное натяжение. В этом случае усилие предварительного натяжения алгебраически суммируется с усилием в раскосе, полученным из расчета фермы.

При расчете опоры в аварийном режиме работы ВЛ, величина нагрузки на каждую из двух А-образных рам от обрыва и веса проводов определяется, как опорная реакция R траверсы, причем траверса рассматривается, как консольная однопролетная балка, опорами для которой являются А-образные рамы.

Расчет А-образной рамы ведется по формулам (5.31)-(5.35), при этом принимается $S_\beta = 0$, $S_T = S_P$.

Между А-образными рамами АП-образной опоры может устанавливаться пространственная связь (диафрагма). Наличие диафрагмы обычно не учитывается, что идет в запас прочности. При необходимости уточнения расчета, диафрагма учитывается в виде дополнительной жесткой опоры стойки в плоскости А, при этом стойка рассматривается как многопролетная балка.

7. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОПОР ВЛ

5.7.1. Деревянные элементы опор ВЛ рассчитываются в соответствии с главой СНиП II-В.4-71 во всех случаях, кроме оговоренных в настоящем разделе.

5.7.2. Гибкость бревенчатых стоек опор определяется в предположении, что приставка является продолжением стойки, по формуле

$$\lambda = \frac{l_0}{r}, \qquad (5.58)$$

где l_0 – расчетная длина стойки;

r – расчетный радиус инерции

$$r = \sqrt{\frac{J_{пр}}{J_ф}}, \qquad (5.59)$$

где $J_{пр}$ – приведенный момент инерции

$$J_{пр} = \frac{\pi d_0 d_к^3}{64}; \qquad (5.60)$$

d_0 – диаметр стойки в отрубе;

$d_к$ – диаметр стойки на уровне заделки с учетом сбега бревна в предположении, что приставка (пасынок, свая) является продолжением стойки;

$J_ф$ – площадь поперечного сечения стойки

$$J_ф = \frac{\pi d_ф^2}{4}, \qquad (5.61)$$

где $d_ф$ – фиктивный диаметр стойки, определяемый по следующим условиям:

1) для столбов, у которых

$$d_к \leq 1{,}3 d_0,$$
$$d_ф = d_{ср} = (d_к + d_0)\,0{,}5; \qquad (5.62)$$

2) для столбов, у которых $d_к > 1{,}3 d_0$:

а) при шарнирном закреплении концов

$$d_ф = 0{,}2(2{,}8 d_0 + 2{,}2 d_к); \qquad (5.63)$$

б) для свободностоящих столбов, заделанных комлем

$$d_ф = 0{,}33(d_0 + 2 d_к); \qquad (5.64)$$

в) для свободностоящих столбов, заделанных отрубом

$$d_{ф} = 0.25\ (3d_0 + d_к), \qquad (5.65)$$

5.7.3. Гибкость плоских промежуточных свободностоящих опор рекомендуется принимать не более 350.

5.7.4. Гибкость сжатых элементов не должна превышать значений, указанных в табл.5.5.

Таблица 5.5

Предельная гибкость сжатых элементов конструкций

Наименование элементов конструкций	Предельная гибкость
Основные элементы конструкций (стойки, приставки, опорные раскосы)	150
Прочие элементы конструкций	175
Связи	200

5.7.5. При проверке устойчивости сжатых элементов характеристики сечений принимаются в пределах опасной зоны (рис.5.8).

Проверка ослабленных сечений вне опасной зоны производится на осевое сжатие с изгибом.

Расчетную длину сжатой стойки из плоскости рамы свободностоящей А-образной деревянной опоры, учитывая поддерживающее действие растянутой стойки, следует принимать равной от центра соединения стоек, до верхнего ригеля или, при отсутствии ригеля, до 1/3 глубины погружения в землю.

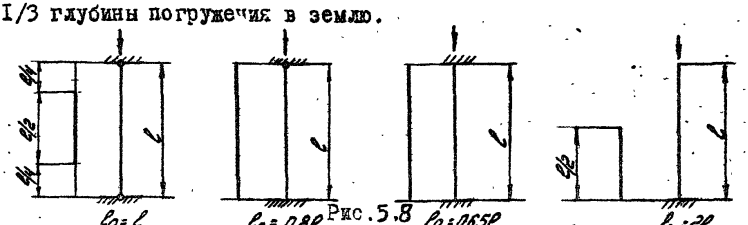


Рис.5.8

На рис.5.8: l_0 – расчетная длина элемента для определения гибкости;

——— – опасная зона.

5.7.6. Прочность изгибаемого элемента круглого сечения при одновременном действии моментов во взаимно перпендикулярных плоскостях определяется по формуле

$$\frac{\sqrt{M_1^2 + M_2^2}}{W_{расч}} \le R_u, \qquad (5.66)$$

где $M_р = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$ – равнодействующий изгибающий момент в расчетном сечении;

$W_{расч.}$ – расчетный момент сопротивления нетто относительно оси, нормальной направлению равнодействующего момента (рис.5.9)

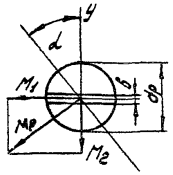


Рис.5.9

$$W_{расч.} = \frac{J_\alpha}{0{,}5 d_р}; \qquad (5.67)$$

$$J_\alpha = \frac{\pi d_р^4}{64} - \frac{\delta d_р}{12}\left(d_р^2 \cos^2\alpha + \delta^2 \sin^2\alpha\right), \qquad (5.68)$$

где $d_р$ – диаметр элемента в расчетном сечении;

δ – размер ослабления в расчетном сечении.

5.7.7. При расчете изгибаемых элементов, состоящих из двух бревен разного диаметра, при условии их соединения, обеспечивающего одинаковые прогибы, распределение усилия Т между бревнами производится пропорционально их погонным жесткостям (рис.5.10)

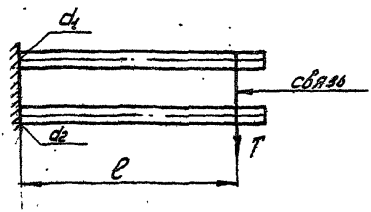


Рис.5.I0

$$T_1 = \frac{T d_1^4}{d_1^4 + d_2^4}\,; \qquad T_2 = \frac{T d_2^4}{d_1^4 + d_2^4}\,, \qquad (5.69),(5.70)$$

где T - расчетная нагрузка на элемент,состоящий из двух бревен;

T_1, d_1 - расчетная нагрузка и диаметр в расчетном сечении первого элемента;

T_2, d_2 - то же второго элемента.

Расчет изгибаемых элементов, состоящих из 2-х или более досок или брусьев, следует производить в соответствии с указаниями СНиП II-В.4-7I.

5.7.8. При расчете внецентренно сжатых элементов в пределах опасной зоны (рис.5.8) необходимо пользоваться формулой для расчета внецентренно сжатых элементов, приведенной в СНиП II-В.4-7I; сечения в неопасной зоне и опорные рассчитываются по формуле

$$\frac{M R_c}{W_{нт} R_u} + \frac{N}{F_{нт}} \le R_c\,, \qquad (5.7I)$$

где M - расчетный изгибающий в сечении;

R_c - расчетное сопротивление древесины сжатию;

R_u - расчетное сопротивление древесины изгибу;

$W_{нт}$ - момент сопротивления поперечного сечения нетто;

$F_{нт}$ - площадь поперечного сечения нетто.

8. РАСЧЕТ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

5.8.1. Соединения деревянных элементов опор между собой выполняются, как правило, на болтах.

5.8.2. Расчетная несущая способность одного среза болта в соединениях элементов из сосны и ели при направлении усилий, передаваемых болтом, вдоль волокон элементов, для симметричных и несимметричных соединений независимо от типа опор ВЛ определяется по формулам:

а) из условия смятия древесины -

$$T_{см} = K_{см} m_c m_р a d \ (кГ); \qquad (5.72)$$

б) из условия изгиба болта -

$$T_и = K_и m_c m_р d^2 \ (кГ), \qquad (5.73)$$

где a - толщина в см более тонкого элемента односрезного соединения или толщина крайнего элемента двусрезного соединения;

d - диаметр болта в см;

$K_{см}, K_и$ - коэффициенты, учитывающие характер работы соединения, принимаются по табл.5.6 Руководства; Ксм зависит от соотношения $\frac{a}{c}$,

где C - толщина в см более толстого или равной толщины элемента в односрезном соединении или толщина среднего элемента в двусрезном соединении;

m_c = 1,4 - коэффициент условия работы болта в соединении;

$m_р$ - коэффициент условия работы болтовых соединений элементов деревянных опор в различных режимах работы ВЛ, принимается по табл.5.7.

Таблица 5.6

Коэффициенты К см и Ки

а/с	Соединения: односрезные			Соединения: двухсрезные симметричные			Соединения: односрезные и двухсрезные симметричные		
	из условия смятия древесины						Из условия изгиба нагеля		
	К см						Ки		
	Режим работы ВЛ								
	Нормальный		Аварийный	Нормальный		Аварийный	Нормальный		Аварийный
	ветровой	гололедный или низшей температ.		ветровой	гололедный или низшей температ.		ветровой	гололедный или низшей температ.	
≤1/3	110	130	175						
0,35	105	125	165						
0,40	95	110	145	110	130	175			
0,45	85	100	130						
0,50	75	90	120						
0,55	70	85	110	100	120	160			
0,60	65	75	100	90	110	145			
0,65	60	73	95	85	100	135	360	390	450
0,70	55	70	90	80	95	125			
0,75	54	65	85	75	90	115			
0,80	52	62	82	70	85	110			
0,85	50	60	80	65	80	105			
0,90	49	58	77	62	75	100			
0,95	47	57	75	60	70	95			

Продолжение табл.5.6

Соединения									
односрезные			двусрезные симметричные			односрезные и двусрезные симметричные			
Из условия смятия древесины						Из условия изгиба нагеля			
$K_{см}$						$K_и$			
Режим работы ВЛ									
$\frac{a}{c}$	Нормальный		Аварийный	Нормальный		Аварийный	Нормальный		Аварийный
	ветровой	гололедный или низшей температ.		ветровой	гололедный или низшей температ.		ветровой	гололедный или низшей температ.	
I.00	45	55	70	55	65	90	360	390	450

Примечание. В двусрезном симметричном соединении при $\frac{a}{c}>1$ величина $K_{см}$ определяется по следующим формулам:

в нормальном режиме ветровом $K_{см} = 55\frac{c}{a}$;

то же гололедном и низшей темпер. $K_{см} = 65\frac{c}{a}$;

в аварийном режиме $K_{см} = 90\frac{c}{a}$.

Таблица 5.7

Коэффициент условия работы болтов	
Режим работы	$m_р$
Нормальный режим ветровой	1,3
Нормальный режим гололедный и низшей температуры	0,9
Аварийный режим	

5.8.3. Расчетную несущую способность болта в рассматриваемом шве принимают равной меньшему из двух значений, полученных из условия смятия древесины и изгиба болта.

5.8.4. Расчетная несущая способность одного среза болта при направлении передаваемого болтом усилия под углом к волокнам элементов определяется в соответствии с п.п.5.8.2, и 5.8.3 с умножением:

а) на коэффициент K_α (табл.5.8) - при расчете на смятие древесины в болтовом гнезде элемента;

б) на $\sqrt{K_\alpha}$ - при расчете на изгиб болта.

Угол α принимается равным большему из углов смятия болтом элементов, прилегающих к рассматриваемому шву.

Таблица 5.8

Коэффициент K_α для расчета болтовых соединений при направлении усилия под углом к волокнам

Угол α в град.	Коэффициент K_α для стальных нагелей диаметром в см				
	I,2	I,6	2,0	2,4	2,7
30	0.95	0.9	0.9	0.9	0.9
60	0,75	0.7	0.65	0.6	0.56
90	0.7	0.6	0,55	0.5	0.46

Примечание. Значение коэффициента K_α для промежуточных углов определяют по интерполяции.

5.8.5. Величину расчетной несущей способности болта в соединениях, определенную в соответствии с п.п.5.8.2 - 5.8.4 необходимо умножать на коэффициенты:

I. При расчете на смятие древесины

а) для древесины других пород на $m_п$, приведенный в СНиП II-В.4-71;

б) для непропитанной древесины на $m_б = 0.85$;

в) при расчете на постоянные и временно длительные нагрузки на К=0.8.

2. При расчете из условия изгиба болта умножение производится на корень квадратный из коэффициентов по п.п.1а-1в.

5.8.6. При расчете болтовых соединений в монтажном режиме Ксм и Ки принимаются по табл.5.7, как при нормальном гололедном режиме работы.

Для непропитанной древесины коэффициент $m_б = 0.85$ и $\sqrt{0.85}$ не учитывается.

5.8.7. Болтовые соединения со стальными накладками рассчитываются согласно п.п.5.8.2-5.8.6 по изгибу болта. Стальные накладки проверяются на растяжение по ослабленному сечению и на смятие стенок сверленых отверстий.

5.8.8. Расстояние между осями болтов в пакетах из досок, брусков и клееной древесины должны быть не менее указанных на рис.5.11.

В пакетах из бревен и полубревен болты ставятся в один ряд по оси бревна. Расстояние между осями болтов и до края бревна следует принимать не менее 10d и не менее 200 мм. В досках, брусьях и клееной древесине допускается расстановка болтов в два ряда.

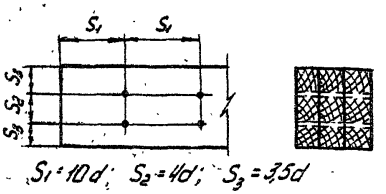


Рис.5.11

5.8.9. Расчет индустриального бандажа в соединении промежуточных опор производится по формуле

$$\frac{P}{2S\alpha} \leq Rp, \qquad (5.74)$$

где P - расчетное горизонтальное усилие, действующее на наиболее нагруженный бандаж;

α - 0,8 коэффициент неравномерности передачи усилия на бандаж;

S - площадь поперечного сечения бандажа;

Rp - расчетное сопротивление растяжению металла бандажа.

Расчетная схема для определения усилия в бандаже приведена на рис.5.I2.

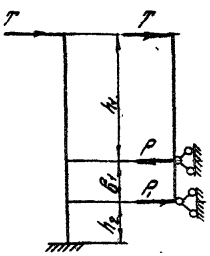


Рис.5.I2.

Усилие в наиболее нагруженном бандаже определяется по формуле

$$P = \frac{T(b_1 + h_1)}{b_1}, \qquad (5.75)$$

где T-расчетная горизонтальная нагрузка на стойку;

b_1 - расстояние между бандажами;

h_1 - расстояние от места приложения горизонтальной нагрузки до верхнего бандажа.

5.8.I0. Подсчет числа витков проволоки в бандажном соединении промежуточных опор производится по формуле

$$n = \frac{P}{2\alpha S R_p}, \qquad (5.76)$$

где α = 0,6 - коэффициент неравномерности работы витков бандажа;

S - площадь поперечного сечения проволоки;

R_p - расчетное сопротивление растяжению проволоки.

5.8.11. Расчеты соединений на врубках, деревянных призматических шпонках, пластинчатых нагелях и клеевых соединений выполняются в соответствии с главой СНиП II-В.4-71, а также с учетом указаний табл.5.1. настоящего раздела „Руководства".

9. ОБЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

5.9.1. При проектировании деревянных опор ВЛ необходимо руководствоваться конструктивными требованиями, приведенными в СНиП II-В.4-71 и в настоящем разделе „Руководства".

5.9.2. Прочность и устойчивость деревянных конструкций опор ВЛ и их элементов должны быть обеспечены как в условиях эксплуатации, так и при транспортировке и монтаже.

В случае необходимости при монтаже опоры следует предусмотреть временное усиление отдельных элементов и узлов, либо установку временных расчалок.

5.9.3. При конструировании центрально растянутых деревянных элементов рекомендуется ослабления располагать симметрично относительно центра тяжести поперечного сечения элемента.

5.9.4. Площадь рабочего поперечного сечения нетто деревянных элементов должна быть не меньше 75 $см^2$, а также не меньше 0,5 полной площади сечения брутто при симметричном ослаблении и 0,67 - при несимметричном.

5.9.5. Стыки сжатых элементов следует располагать вблизи узлов, закрепленных от выхода из плоскости системы.

5.9.6. Соединение деревянных элементов при необходимости их удлинения может осуществляться как на бандажах, так и на болтах.

Конструкцию стыков элементов рекомендуется выполнять таким образом, чтобы обеспечить осевую передачу усилий.

5.9.7. Бандажное соединение стойки с пасынком рекомендуется осуществлять на индустриальных бандажах. Допускается применение проволочных бандажей из мягкой стальной проволоки.

5.9.8. Соединение отдельных элементов опоры между собой следует, как правило, производить без врубок при помощи болтов и специальных стальных деталей.

При необходимости выполнения врубок или притесок они должны выполняться на заводе до антисептирования древесины, что следует оговаривать на рабочих чертежах.

5.9.9. При соединении стоек с приставками внахлестку длину стыка рекомендуется принимать:

а) для промежуточных опор, в зависимости от длины стойки:

при длине стойки 13 м - 2,0 м;

то же 11 м - 1,75-1,8 м;

-"- 8,5 м - не менее 1,5 м;

б) для угловых и анкерных опор напряжением 35 кВ и выше - не менее - 1,5 м;

в) для опор на деревянных приставках ВЛ напряжением 6-20 кВ включительно - не менее 1,3 м.

5.9.10. В месте бандажного соединения стойки с приставкой необходимо предусмотреть притеску в обоих элементах на всю длину стыка; минимальная ширина притески 100 мм. Для опор ВЛ 20 кВ и ниже ширина притески допускается 85 мм.

5.9.11. Диаметр стальных болтов, соединяющих элементы из бревен и пиленого леса, должен быть не менее 16 мм и не более 27 мм; для элементов из клееной древесины диаметр болтов можно принимать до 30 мм.

5.9.12. Рекомендуется применять болты нормальной точности по ГОСТ 7798-70*. Допускается применение специальных болтов нормальной точности с градацией по длине 50-100 мм. Длина нарезной части, как правило, принимается в пределах 50-150 мм. Разрешается вхождение резьбы в деревянные элементы. Болты можно выполнять с квадратной головкой.

5.9.13. При определении требуемой длины болтов толщина пакета должна определяться по проектному диаметру элементов из бревен в месте установки болта, с учетом допуска на $d+2$ см.

5.9.14. Диаметр отверстий под болты в металлических деталях деревянных опор ВЛ принимается согласно разделу 3 Руководства.

Диаметр отверстий под болты в деревянных элементах, кроме клееных, допускается принимать на 2 мм больше диаметра болтов; в клееных элементах - на 1 мм. Отверстия для деталей, крепящих изоляцию к опоре, следует выполнять равными диаметру детали (болта, заварного крюка и пр.). Отверстия под болты в деревянных элементах должны быть просверлены. Прожигание отверстий не допускается.

5.9.15. Неиспользованные дыры в деревянных элементах необходимо заделать деревянными пробками на битуме. В случае необходимости допускается сверление отверстий по месту с последующей обмазкой антисептической пастой. Указанные требования должны оговариваться на рабочих чертежах.

5.9.16. Для улучшения электрического контакта между соединяемыми деревянными элементами в местах, где возможно возгорание опоры из-за токов утечки, рекомендуется ставить стальные детали в виде контактных полос, шайб, седел и т.п.

5.9.17. Верхние торцы стоек и пасынков выполняются со скосом, обеспечивающим сток воды. Рекомендуется защищать торцы обмазкой антисептической пастой.

5.9.18. При определении длины болта и его нарезной части в соединениях из трех и более элементов из бревен возможность допуска на диаметр бревна+2 см рекомендуется учитывать только для двух элементов.

Длина болта должна превышать толщину пакета, как правило, не менее чем на 25 мм.

5.9.19. Диаметр стальных тяжей и тяг должен приниматься не менее 12 мм.

5.9.20. В рабочих чертежах должны быть указаны расчетные диаметры в опасном сечении каждой деревянной детали.

10. ОСНОВНЫЕ УКАЗАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И КАПИТАЛЬНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР ВЛ

5.10.1. В проектах деревянных опор ВЛ, а также самих ВЛ, должны быть предусмотрены меры защиты конструкций деревянных

опор от гниения, возгорания и поражения древоточцами в соответствии с указаниями настоящего раздела „Руководства", СНиП II-В.7-69 и специальных инструкций, издаваемых в развитие СНиП.

5.10.2. Основным мероприятием по защите деревянных элементов опор ВЛ от гниения является качественная заводская пропитка древесины маслянистыми антисептиками в соответствии с требованиями СНиП II-В.7-69 и "Руководства по высокотемпературной сушке и пропитке сырых круглых лесоматериалов для открытых сооружений".

Допускается пропитка древесины водными антисептиками при соблюдении требований СНиП II-В.7-69.

При пропитке деталей ВЛ водными растворами антисептиков возможно применение только трудно выщелачиваемых антисептиков из древесины (например, доншлит и др.); для защиты ВЛ от гниения могут быть рекомендованы также антисептические пасты, с последующей гидроизоляцией.

5.10.3. Основными мерами защиты деревянных элементов опор от возгорания от токов утечки должны быть конструктивные меры, как например, плотная посадка заварных крюков в отверстия траверс, плотное соединение траверс со стойками опор и пр.

5.10.4. Стальные детали деревянных опор должны быть защищены стойким антикоррозийным покрытием согласно требованиям СНиП и другим нормативным документам по защите строительных конструкций от коррозии.

Защитное покрытие стальных деталей рекомендуется осуществлять методом горячего цинкования.

При отсутствии производственных возможностей осуществления горячей оцинковки допускается окраска, за исключением оку-

Расчет оснований(заделок) деревянных опор см.в разделе 6 „Руководства".

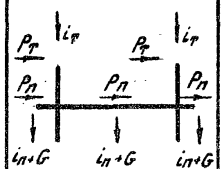
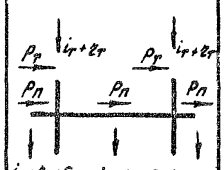
11. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР ВЛ

Р А С Ч Ё Т

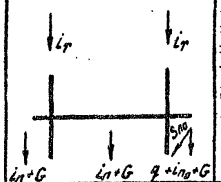
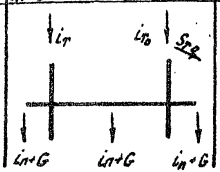
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ П-ОБРАЗНОЙ ОПОРЫ С ВЕТРОВОЙ СВЯЗЬЮ С ТРОСАМИ

Таблица 5.9

Схемы нагрузок на одноцепную П-образную промежуточную опору 110 кВ с тросами, провод АС-120, трос С-70

№ режимов работы ВЛ	Режим работы ВЛ	Расчетные клим. условия	Схемы нагрузок	Наименования нагрузок	Обозначения	Значения норм. нагрузок, кг	Коэффициент перегрузки	Коэффициент сочетаний	Значения расчетных нагрузок, кг
I	Нормальный режим Провода не оборваны. Гололед отсутствует. Ветер максимальный, направленный перпендикулярно к ВЛ	$t=-5°C$; $C^{н}=0$ $q^{н}=q^{н}_{max}=50$ кг/м²		Вес троса Давление ветра на трос Вес провода Вес гирлянды изоляторов Давление ветра на провод	$i_т$ $P_т$ $i_{пр}$ G $P_п$	105 90 125 40 150	1,1 1,2 1,1 1,1 1,2	- - - - -	120 110 135 45 180
II	Нормальный режим Провода не оборваны. Гололед. Ветер направлен перпендикулярно к ВЛ	$t=-5°C$; $C^{н}=20$ мм $q^{н}_{max}=14$ кг/м²		Вес троса свободн. от гололеда Вес гололеда на тросе Давление ветра на трос, покрыт. гололедом Вес пролета провода свободн. от гололеда Вес гололеда на проводе Вес гирлянды изоляторов Вес гололеда на гирлянде изоляторов Давление ветра на провод, покрыт. гололедом	$i_т$ $z_т$ $P_т$ $i_п$ $z_п$ G $P_п$	71 282,5 114 82 335 40 20 130	1,1 2,0 1,4 1,1 2,0 1,1 2,0 1,4	- - - - - - - -	80 565 160 90 670 45 40 180

Продолжение таблицы 5.9

№№ режимов работы ВЛ	Режим работы ВЛ	Расчетные климатические условия	Схемы нагрузок	Наименования нагрузок	Обозначения	Значения нормат. нагрузок, кг	Коэффициент перегрузки	Коэффициент сочетаний	Значения расчет. нагрузок, кГ
Ш	Аварийный режим Оборван один крайний провод в одном пролете. Гололед и ветер отсутствуют	$t=-5^{\circ}C$, $C^{H}=0$; $g^{H}=0$		Вес необорванного троса Вес необорванного провода Вес оборванного провода Вес гирлянды изоляторов Вес монтажной люльки Тяжение оборванного провода	$i_{т}$ $i_{п}$ $i_{по}$ G g $S_{по}$	I05 I25 60 40 I50 835	I,I I,I I,I I,I I,I I,3	- - - - - 0,8	II5 I35 65 45 I65 870
IУ	Аварийный режим Провода и тросы свободны от гололеда, $t=-5^{\circ}C$, ветер отсутствует. Оборван I трос	$t=-5^{\circ}C$, $C^{H}=0$; $g^{H}=0$		Вес необорванного троса Вес оборванного троса Вес необорванного провода Вес гирлянды изоляторов Тяжение оборванного троса	$i_{т}$ $i_{то}$ $i_{п}$ G $S_{то}$	I05 55 I25 40 965	I,I I,I I,I I,I I,3	-	II5 60 I35 45 I005

Примечания: I. Схемы нагрузок составлены в соответствии с ПУЭ-66, СНиП II-И.9-62.

2. Давление ветра на провода определено по I^{ой} ветровой зоне.

3. Усилие от оборванного провода в режиме Ш принимается в соответствии с II-5-98 ПУЭ-66.

Схема опоры

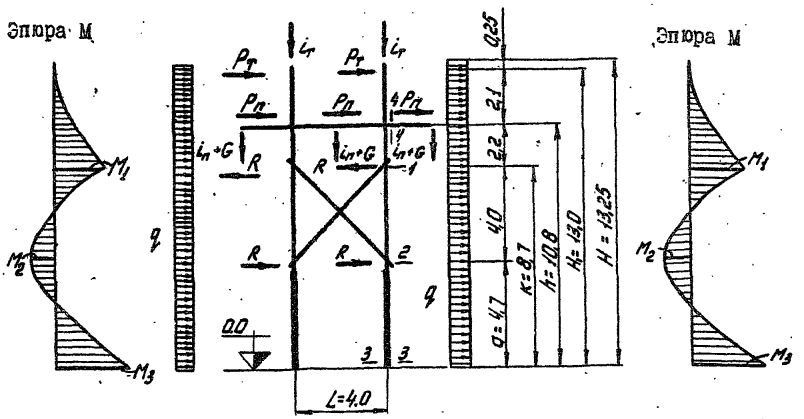


Рис.5.I3

РАСЧЕТ СТОЙКИ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ
Схема нагрузок I

Определение ветровой нагрузки, действующей на конструкцию опоры.

Ветровая площадь стойки определяется по среднему диаметру в предположении, что пасынок является продолжением стойки. Диаметр стойки в отрубе принимается $d_о$ = I8 см.

$$d_{ср} = I8 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot I3,25 = 23,3 \text{ см};$$

$$F_{ст} = 0,233 \cdot I3,25 = 3,08 \text{ м}^2.$$

Ветровая площадь раскоса определяется как произведение среднего диаметра раскоса на длину его проекции на ось стойки. Диаметр раскоса в отрубе принимается $d_о$ = I6 см.

$$d_{ср} = I6 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 8,5 = I9,4 \text{ м};$$

$$F_р = 0,I94 \cdot 4,0 = 0,776 \text{ см}^2.$$

Суммарная ветровая площадь половины опоры

$$S = 3,08 + 0,776 = 3,86 \text{ м}^2.$$

Расчетное давление ветра, приходящееся на одну стойку по формуле (5.4) в пункте 5.8

$$Q_c = 0,5 \cdot 50 \cdot 3,86 \cdot 1,2 = 115 \text{ кГ}.$$

Расчетное давление ветра на пог.м конструкции опоры

$$q = \frac{Q_c}{H} = \frac{115}{13,25} = 8,8 \text{ кГ/м}.$$

Определение реакции в точках крепления ветровой связи к стойке

а) От ветровой нагрузки на провода и тросы по формуле (5.19)

$$R_1 = \frac{3(1,5 \cdot 180 \cdot 10,9 + 110 \cdot 13,0)(8,7^2 - 2 \cdot 4,7^2) - (1,5 \cdot 180 + 110)}{2 \cdot 8,7^3 - 9 \cdot 4,7^2 \cdot 8,7 + 7 \cdot 4,7^3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(8,7^3 - 2 \cdot 4,7^3)}{2 \cdot 8,7^3 - 9 \cdot 4,7^2 \cdot 8,7 + 7 \cdot 4,7^3} = 760 \text{ кГ}.$$

б) От ветровой нагрузки на конструкцию опоры по формуле (5.20)

$$R_2 = q \cdot \frac{1,5 \cdot 13,25^2 (8,7^2 - 2 \cdot 4,7^2) - 13,25(8,7^3 - 2 \cdot 4,7^3) + 0,25}{2 \cdot 8,7^3 - 9 \cdot 4,7^2 \cdot 8,7 + 7 \cdot 4,7^3} \rightarrow$$

$$\rightarrow \frac{(8,7^4 - 2 \cdot 4,7^4)}{2 \cdot 8,7^3 - 9 \cdot 4,7^2 \cdot 8,7 + 7 \cdot 4,7^3};$$

$$R_2 = 11,2\,q = 11,2 \cdot 8,8 = 99 \text{ кГ}.$$

Суммарная реакция

$$R = R_1 + R_2 = 760 + 99 = 859 \text{ кГ}.$$

Проверка прочности древесины в расчетных сечениях производится по формуле (5.71).

Сечение I-I

Определение изгибающего момента по формуле (5.23)

$$M_{I-I} = 110(13,0 - 8,7) + 1,5 \cdot 180(10,9 - 8,7) + 0,5 \cdot 8,8(13,25 - 8,7)^2 =$$

$$= 1158 \text{ кГм}.$$

Определение вертикального усилия в расчетном сечении

$$N_1 = g_{тр} + 1,5 g_{пр} + (0,5 g_{трав} + G_{ст}) n,$$

где $g_{трав}$ и $G_{ст}$ – соответственно вес траверсы $d_0 = 20$ см, $L = 8,5$ м и стойки $d_0 = 18$ см до сечения I-I, принимаемые по табл.3, приложения;

n – коэффициент перегрузки, принимаемый согласно разделу 2 Руководства;

$g_{тр}=i_т$; $g_{пр}=i_{пр}+\beta$.

$N_1=(120+1,5\cdot180+(0,5\cdot288+110)\cdot1,1=668$ кГ.

Проверяется стойка $d_0=18$ см.

$d_1=d_0+0,8\,(H_I-к)=18+0,8\cdot4,55=21,6$ см – диаметр стойки в расчетном сечении.

$F_1=0,785\,d_1^2=0,785\cdot21,6^2=368$ см^2.

$W_1=0,1$ Косл $d_1=0,1\cdot0,95\cdot21,6^3=960$ см^3,

где $K_{осл}=0,95$; см. лист 56.

Определение коэффициента Косл., учитывающего ослабление в сечении отверстием под болт.

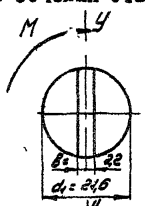


Рис.5.14

Момент инерции сечения, ослабленного отверстием под болт

$$J_1=\frac{\pi d_1^4}{64}-\frac{d\,\delta^3}{12}=$$

$$=\frac{3,14\cdot21,6^4}{64}-\frac{21,6\cdot2,2^3}{12}=10680\text{ см}^4.$$

Момент сопротивления сечения, ослабленного отверстием под болт

$$W_1=\frac{J_1}{0,5\,d_1}=\frac{10680}{0,5\cdot21,6}=988\text{ см}^3.$$

Момент инерции сечения без учета ослабления

$$J_1=\frac{\pi d_1^4}{64}=\frac{3,14\cdot21,6^4}{64}=10700\text{ см}^4.$$

Момент сопротивления сечения без учета ослабления

$$W_1=\frac{J_1}{0,5\,d_1}=\frac{10700}{0,5\cdot21,6}=991\text{ см}^3.$$

Коэффициент, учитывающий ослабление сечения

$$\text{Косл}=\frac{988}{991}=0,98.$$

Учитывая возможность применения стоек разных диаметров,

принимается усредненный коэффициент ослабления

$$K_{осл} = 0,95.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{115800 \cdot 130}{960 \cdot 160} + \frac{668}{368} = 101 < 130 \text{ кГ/см}^2.$$

Сечение 2-2.

Определение изгибающего момента по формуле (5.24)

$$M_{2-2} = 110 \cdot (13,0-4,7) + 1,5 \cdot 180 (10,9-4,7) + 0,5 \cdot 8,8 (13,25-4,7)^2 - 859 \cdot 4,0 = 538 \text{ кГм}.$$

Определение вертикального усилия в расчетном сечении

$$N_2 = N_1 - G_{1ст} + (G_{2ст} + G_р) n + N_2',$$

где $G_{1ст}$ – см. лист 54;

$G_{2ст}$ и $G_р$ – вес стойки до сечения 2 и вес раскоса, принимаемые по табл. 3, приложения;

n – коэффициент перегрузки, принимаемый согласно разделу 2 Руководства;

N_2' – вертикальная составляющая реакций связей определяется по формуле (5.26)

$$N_2' = \frac{2 \cdot 859}{1,0} = 1718 \text{ кГ}.$$

$N_2 = 668 - 120 + (240+138)1,1 + 1718 = 2684$ кГ.

$d_2 = 18 + 0,8 \cdot 8,55 = 24,8$ см – диаметр стойки в расчетном сечении.

$F_2 = 0,785\, d_2^2 = 0,785 \cdot 24,8^2 = 485 \text{ см}^2$;

$W_2 = 0,1\, K_{осл}\, d_2^3 = 0,1 \cdot 0,95 \cdot 24,8^3 = 1450 \text{ см}^3$.

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{53800 \cdot 130}{1450 \cdot 160} + \frac{2684}{485} = 35 < 130 \text{ кГ/см}^2.$$

Сечение 3-3.

Определение изгибающего момента по формуле (5.25)

$$M_{3-3} = 1,2(110 \cdot 13 + 1,5 \cdot 180 \cdot 10,9 + 0,5 \cdot 8,8 \cdot 13,25^2 - 859 \cdot 4,0) = 2060 \text{ кГм}.$$

Определение вертикального усилия в расчетном сечении

$$N_3 = N_1 - G_{1ст} + (G_{3ст} + G_{пас} + G_{рас})\, n + N_3',$$

где $G_{пас}$ – вес пасынка d_0 = 24 см и $G_{3ст}$ – вес стойки d_0 = 18 см до сечения 3, принимаются по табл.3 приложения;

$N_3' = N_2' = 1718$ кГ (см.лист 56).

$N_3 = 668 - 120 + (349 + 168 + 138)1,1 + 1718 = 2986$ кГ.

Проверяется пасынок d_0 = 24 см.

$d_3 = 24 + 0,8 \times 4,0 = 27,2$ см – диаметр пасынка в расчетном сечении.

$$F_3 = 0,785\, d_3^2 = 0,785 \cdot 27,2^2 = 580 \text{ см}^2;$$

$$W_3 = 0,1\, d_3^3 = 0,1 \cdot 27,2^3 = 2000 \text{ см}^3.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{206000 \times 130}{2000 \times 160} + \frac{2986}{580} = 90 < 130 \text{ кГ/см}^2.$$

РАСЧЕТ СТОЙКИ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Схема нагрузок Ш, оборван провод, учитывается поддерживающее действие тросов.

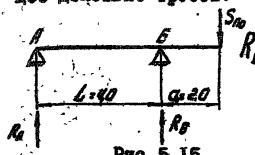


Рис.5.15

$$R_Б = S_{по} \frac{a_1 + L}{L} = 870 \cdot \frac{2,0 + 4,0}{4,0} = 1305 \text{ кГ},$$

где $S_{по}$ – расчетная нагрузка от обрыва провода.

Расчетная схема стойки

Эпюра М

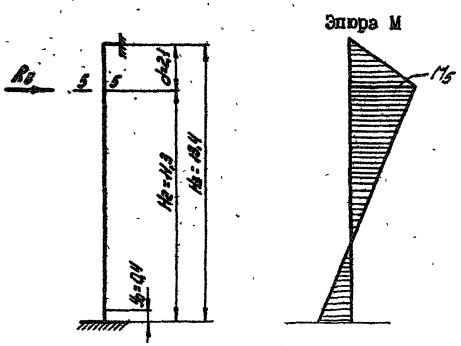


Рис.5.16

Уо – расстояние от уровня земли до места защемления пасынка.

Определение изгибающего момента

$$M_5 = \frac{R_5 H_2^2 (3H_3 - H_2) d}{2H_3^3},$$

где R_5 – реакция на стойку от обрыва провода.

$$M_5 = \frac{1305 \cdot 11,3^2 (3 \cdot 13,4 - 11,3) \cdot 2,1}{2 \cdot 13,4^3} = 2080 \text{ кГм}.$$

Определение вертикальной нагрузки

$$N_5 = g_{тр} + G_{5ст} = 110 + 57 = 167 \text{ кГ},$$

где $G_{5ст} = 57$ кГ – вес стойки до сечения 5, принимается по табл.3, приложения.

Проверяется стойка $d_0 = 18$ см.

$d_5 = d_0 + 0,8(H_I - h) = 18 + 0,8 \cdot 2,35 = 19,88$ см – диаметр стойки в расчетном сечении.

$$F_5 = 0,785 \cdot d_5^2 = 0,785 \cdot 19,88^2 = 308 \text{ см}^2;$$

$$W_5 = 0,1 \, K_{осл} d_5^3 = 0,1 \cdot 0,85 \cdot 19,88^3 = 665 \text{ см}^3,$$

где $K_{осл} = 0,85$, см.лист 59.

Определение коэффициента $K_{осл}$, учитывающего ослабление в сечении отверстием под болт.

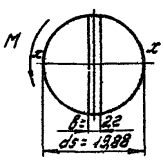


Рис.5.17

Момент инерции сечения, ослабленного отверстием под болт

$$J_5 = \frac{\pi d_5^4}{64} - \frac{\delta d_5^3}{12} = \frac{3,14 \cdot 19,88^4}{64} - \frac{2,2 \cdot 19,88^3}{12} = 6130 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления сечения, ослабленного отверстием под болт

$$W_5 = \frac{J_5}{0,5 d_5} = \frac{6130}{0,5 \cdot 19,88} = 620 \text{ см}^3.$$

Момент инерции без учета ослабления

$$J_5 = \frac{\pi d_5^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 19,88^4}{64} = 7650 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления без учета ослабления

$$W_5 = \frac{J_5}{0,5 \cdot d_5} = \frac{7650}{0,5 \cdot 19,88} = 770 \text{ см}^3.$$

Коэффициент, учитывающий ослабление сечения

$$К_{осл} = \frac{620}{770} = 0,82.$$

Учитывая возможность применения элементов разных диаметров, принимается усредненный коэффициент

$$К_{осл} = 0,85.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{208000 \cdot 210}{665.260} + \frac{167}{308} = 253 < 260 \text{ кГ/см}^2.$$

РАСЧЕТ ТРАВЕРСЫ В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Схема нагрузок II

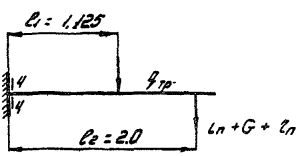


Рис.5.18

Траверса проверяется в консольной части со стороны отруба. Проверка прочности в расчетном сечении производится по формуле (15) СНиП II-В.4-71.

Определение изгибающего момента в расчетном сечении

$$M_ц = g_{тр} n \ell_1 + (i_n + G + \tau_n) \ell_2 =$$

$$= 62 \cdot 1,1 \cdot 1,125 + (90+85+670)\ 2,0 = 1767 \text{ кГм},$$

где $g_{тр}$ – вес траверсы, принимаемый по табл.3, приложения.

Проверяется траверса $d_0 = 20$ см.

$d_ц = 20+0,8 \cdot 2,25 = 21,8$ см – диаметр траверсы в расчетном сечении.

$W_ц = 0,1\, d_ц^3\, К_{осл} = 0,1 \cdot 21,8^3 \cdot 0,95 = 985 \text{ см}^3$.

$К_{осл}$ – см.лист 56.

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{176700}{985} = 180 < 195 \text{ кГ/см}^2.$$

РАСЧЕТ ТРАВЕРСЫ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Схема нагрузок III

Траверса проверяется в консольной части со стороны отруба.

Определение изгибающего момента в расчетном сечении

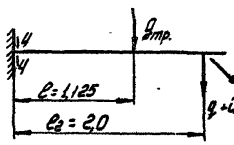


Рис.5.19

$$M_4^в = g_{тр} n \ell_1 + (g_л + i_{no} + G)\ell_2 =$$

$$S_{no} = 62 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}125 + (165+65+45) \cdot 2{,}0 = 627 \text{ кГм};$$

$$M_4^г = S_{no}\ell_2 = 870 \cdot 2{,}0 = 1740 \text{ кГм};$$

$$\Sigma M = \sqrt{(M_4^в)^2 + (M_4^г)^2} = \sqrt{627^2 + 1740^2} = 1849 \text{кГм}.$$

Определение момента сопротивления сечения, ослабленного отверстием под болт.

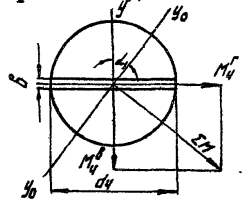


Рис.5.20

$d_4 = 20 + 0{,}8 \cdot 2{,}25 = 21{,}8$ – диаметр траверсы в расчетном сечении.

$e = 2{,}2$ см – диаметр отверстия под болт.

$$tg\alpha = \frac{M_4^в}{M_4^г} = \frac{607}{1740} = 0{,}35; \quad \alpha_1 = 19^0 18';$$

$\sin\alpha_1 = 0{,}331$; $\cos\alpha_1 = 0{,}944$.

Момент инерции относительно оси y_0 определяется по формуле (5.68)

$$J_{y_1} = \frac{3{,}14 \cdot 21{,}8^4}{64} - \frac{2{,}2 \cdot 21{,}8}{12}(21{,}8^2 \cdot 0{,}994^2 + 2{,}2^2 \cdot 0{,}331^2) =$$

$= 9300 \text{ см}^4$.

Момент сопротивления сечения относительно оси y_0 определяется по формуле (5.67)

$$W_4 = \frac{9300}{0{,}5 \cdot 21{,}8} = 855 \text{ см}^3.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{184900}{855} = 216 < 260 \text{ кГ/см}^2.$$

РАСЧЕТ УЗЛОВ

Узел, соединяющий раскос со стойкой

Схема нагрузок I

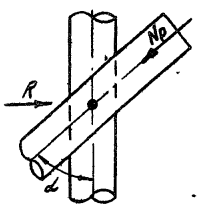


Рис.5.21

Усилие в раскосе

$$N_p = \frac{R}{\sin\alpha} = \frac{859}{0,707} = 1200 \text{ кГ},$$

где $R = 859$ кГ – суммарная реакция на стойку, см.лист 54.

Определение расчетной несущей способности одного среза болта из условия изгиба болта по формуле(5,73)и пункту 5.8.4 „Руководства"

$$T_u = 360 \cdot 1,4 \cdot 1,3 \cdot 2,0^2 \sqrt{0,77} = 2260 \text{ кГ}.$$

$$N_p = 1200 \text{ кГ} < T_u = 2260 \text{ кГ}.$$

Определение расчетной несущей способности одного среза болта из условия смятия древесины по формуле (5.72)

$$T_{см} = 54 \cdot 1,4 \cdot 1,3 \cdot 16,2 \cdot 20 = 3200 \text{ кГ},$$

где $\frac{a}{c} = \frac{16,2}{21,6} = 0,75.$

$$N_p = 1200 \text{ кГ} < T_{см} = 3200 \text{ кГ}.$$

Как видно, определяющей является проверка болта из условия изгиба.

Узел, соединяющий стойку с пасынком.

Схема нагрузок II

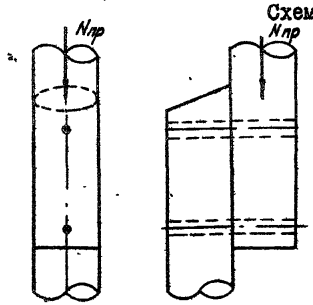


Рис.5.22

Необходимое количество болтов определяется по формуле

$$n = \frac{N_{пр}}{T_u}$$

Определение продольного усилия в стойке

$$N_{пр} = \frac{2R}{tg\alpha} + G_1 ,$$

где $G_1 = g_{ст} + g_{рас} + 0,5 g_{трав} + 1,5 g_{пр} + g_{тр}$ – расчетная нагрузка от веса конструкции опоры, проводов и троса, приходящаяся на стойку;

R – реакция в точках крепления ветровой связи к стойке от ветровой нагрузки по формулам (5.19)(5.20).

Определение расчетного давления ветра, приходящегося на стойку по формуле(5.4)и пункту 5.4.8 „Руководства"

$$Q_в = 0,5 \cdot 3,86 \cdot 14 \cdot 1,0 = 27 \text{ кГ};$$

$$q = \frac{27}{13,25} = 2,04 \text{ кГ/м}.$$

$$R_1 = \frac{3(1,5 \cdot 180 \cdot 10,9 + 160 \cdot 13,0)(8,7^2 - 2 \cdot 4,7^2)}{2 \cdot 8,7^3 - 9 \cdot 4,7^2 \cdot 8,7 + 7 \cdot 4,7^3} -$$

$$- \frac{(1,5 \cdot 180 + 160)(8,7^3 - 2 \cdot 4,7^3)}{2 \cdot 8,7^3 - 9 \cdot 4,7^2 \cdot 8,7 + 7 \cdot 4,7^3} = 920 \text{ кГ};$$

$$R_2 = 11,2q = 11,2 \cdot 2,04 = \sim 23 \text{ кГ (см.лист 54)}$$

Суммарная реакция

$$R = 920 + 23 = 943 \text{ кГ}.$$

$$N_{пр} = \frac{2 \cdot 943}{1,0} + 1,1(349 + 138 + 144) + 1,5 \cdot 845 + 645) = 4496 \text{ кГ}.$$

Определение расчетной несущей способности одного среза болта из условия изгиба болта по формуле(5.73)и пункту 5.8.4

$$T_u = 390 \cdot 1,4 \cdot 0,9 \cdot 2,4^2 = 2820 \text{ кГ}$$

$$n = \frac{4496}{2820} = 2 \text{ болта}.$$

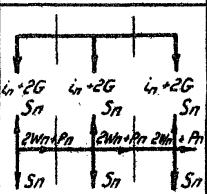
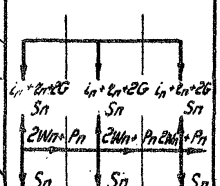
Р А С Ч Е Т

АНКЕРНО-УГЛОВОЙ АП-ОБРАЗНОЙ ОПОРЫ

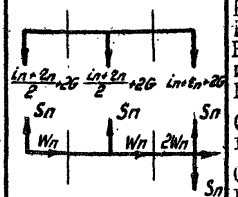
БЕЗ ТРОСОВ

Таблица 5.10

Схемы нагрузок на АП-образную анкерно-угловую опору 110 кВ без тросов

№№ режимов работы ВЛ	Режим работы ВЛ	Расчетные климатические условия	Схемы нагрузок	Наименования нагрузок	Обозначения	Численные значения нормат. нагрузок, кГ	Коэффициент перегрузки	Коэффициент сочетаний	Численные значения расчетных нагрузок, кГ
I	Нормальный режим Провод АС-185. Провода не оборваны. Гололед отсутствует. Ветер направлен по биссектрисе внутреннего угла поворота линии. ~~[illegible]~~ I район гололедности.	$t=-5°C$; $C=0$ $q^н = q^н_{max} = 50$ кг/м²		Вес провода	$i_п$	250	I,I	-	275
				Вес гирлянды изоляторов	G	50	I,I	-	55
				Давление ветра на проводе	$P_п$	200	I,2	-	240
				Составляющая тяжения проводов ⊥ траверсе	$S_п$	I830	I,3	-	2380
				Составляющая тяжения проводов вдоль траверсы	$W_п$	I055	I,3	-	I370
II	Нормальный режим Провод АС-185. Провода не оборваны. Гололед. Ветер направлен по биссектрисе внутреннего угла поворота линии. ~~[illegible]~~ I район гололедности.	$t=-5°C$; $C^н=5$ мм $q^н=0{,}25q^н_{max}=12{,}5$ кг/м²		Вес провода свободного от гололеда	$i_п$	250	I,I	-	275
				Вес гололеда на проводе	$r_п$	II0	2,0	-	220
				Вес гирлянды изоляторов		50	I,I	-	55
				Вес гололеда на гирлянде изоляторов	G	25	2,0	-	50
				Давление ветра на проводе, покрытого гололедом	$P_п$	95	I,4	-	I35
				Составляющая тяжения проводов ⊥ траверсе	$S_п$	I740	I,3	-	2260
				Составляющая тяжения проводов вдоль траверсы	$W_п$	I0I5	I,3	-	I320

Продолжение табл.5.10

№№ режимов работы ВЛ	Режим работы ВЛ	Расчетные климатические условия	Схемы нагрузок	Наименования нагрузок	Обозначения	Численные значения нормат. нагрузок, кГ	Коэффициент перегрузки	Коэффициент сочетаний	Численные значения расчетных нагрузок, кГ
Ш	Аварийный режим Провод АС-150 Оборваны два провода одного пролета, дающие наибольший крутящий момент. Гололед. Ветер отсутствует. Угол поворота линии равен 0°, IУ район гололедности	$t=-5°C$; $C^{н}=20мм$; $q=0$		Вес провода свободного от гололеда	$i_п$	145	1,1	-	165
				Вес гололеда на проводе	$r_п$	500	2,0	0,9	900
				Вес гирлянды изоляторов		45	1,1		50
				Вес гололеда на гирлянде изоляторов	G	25	2,0	0,9	45
				Вес монтажной люльки	g	200	1,1	-	220
				Составляющая тяжения проводов I траверсе, $\beta=0°$	$S_п$	2040	1,4	0,9	2570
				Составляющая тяжения проводов вдоль траверсы, $\beta=0°$	$W_п$	0	-	-	0
				Составляющая тяжения проводов I траверсе, $\beta=60°$	$S_п$	1020	1,4	0,9	1280
				Составляющая тяжения проводов вдоль траверсы, $\beta=60°$	$W_п$	1770	1,4	0,9	2240

Примечания: 1. Схемы нагрузок составлены в соответствии с ПУЭ-66, СНиП II-И.9-62.

2. Давление ветра на провода определено по I-ой ветровой зоне.

3. Усилие от оборванного провода в режиме Ш принимается в соответствии с п.II-5-98 ПУЭ-66.

4. Натяжная гирлянда одноцепная из 7 изоляторов ПС6-А. Все гирлянды изоляторов - 50 кГ.

Схема опоры

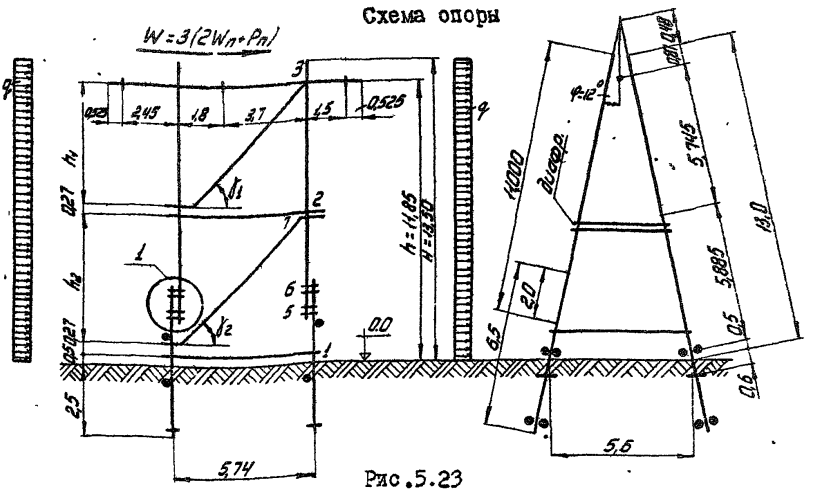


Рис.5.23

Геометрические размеры и диаметры элементов приняты по унифицированной опоре УД 110-5, черт. № 1349 тм ТЗ-31. Объём леса 7,1 м³; вес опоры 7,1·800·1,1 = 6250 кГ. Вес металла 600·1,1 = 660 кГ.

Узел 1

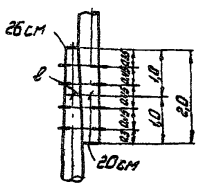


Рис.5.24

Подсчет эксцентриситета "e"

$$e = \frac{(20+26)+0,8\cdot 1,0\cdot 2}{2} = 23,8 \text{ см} =$$

$$= 0,24 \text{ м}.$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НА КОНСТРУКЦИЮ ОПОРЫ

Ветровая площадь стойки определяется по среднему диаметру в предположении, что пасынок является продолжением стойки. Диаметр стойки в отрубе принимается d_0 =20 см

$$d_{ср} = 20+0,8\cdot 0,5\cdot 13,0 = 25,2 \text{ см};$$

$$F_{ст} = 0,525\cdot 13,0 = 3,28 \text{ м}^2.$$

Ветровая площадь поперечины $d_0 = 16$ см, $l_{пол} = 6{,}0$ м

$F_{пол} = (16+0{,}8\cdot0{,}5\cdot6{,}0)\cdot6{,}0 = 1{,}1$ м^3.

Ветровая площадь диафрагмы $d_0 = 16$ см, $l_{диаф} = 7{,}0$ м

$F_{диаф} = (16+0{,}8\cdot0{,}5\cdot7{,}0)\cdot3{,}2 = 0{,}6$ м^3.

$\Sigma S = 3{,}28+0{,}5\cdot1{,}1+0{,}6 = 4{,}43$ м^3.

Давление ветра, приходящееся на одну ногу опоры по формуле (5.4) и пункту 5.4.8

$Q_c = 0{,}5\cdot50\cdot4{,}43\cdot1{,}2 = 134$ кГ.

РАСЧЕТ ПРИЖАТОЙ СТОЙКИ И ПАСЫНКА В НОРМАЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Схема нагрузок I

I. Определение М от силы Q'.

Расчетная схема

Эпюра $M_{Q'}$

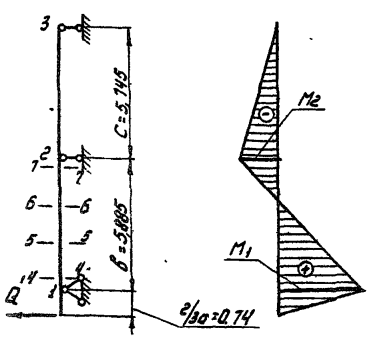


Рис.5.25

Горизонтальная сила, приходящаяся на одну стойку по формуле (5.45)

$Q = 0{,}25W + qH.$

$Q = 0{,}25\cdot3(2\cdot1370+240) +$

$+ 10{,}3\cdot13 = 2374$ кГ.

Горизонтальная сила с учетом предварительного напряжения в раскосах, равного 500 кГ

$Q' = Q + 500(\cos\gamma_1 + \cos\gamma_2) = 2374+500(0{,}708+0{,}731) = 3070$ кГ.

$$tg\gamma_1 = \frac{5{,}745-0{,}27}{5{,}5} = 0{,}996; \qquad \gamma_1 = 44^\circ54';$$

$$tg\,\gamma_2 = \frac{5,885 - 2 \cdot 0,27}{5,5 + 0,24} = 0,932; \quad \gamma_2 = 43^0.$$

Определение изгибающего момента в сечении I по формуле (5.46)

$$M_I = 0,74 \cdot 3070 = 2250 \text{ кГм};$$

в-С; $M_2 = 0,25 M_I = 0,25 \cdot 2250 = 560$ кГм.

Определение M в сечениях 4-4,5-5,6-6,7-7

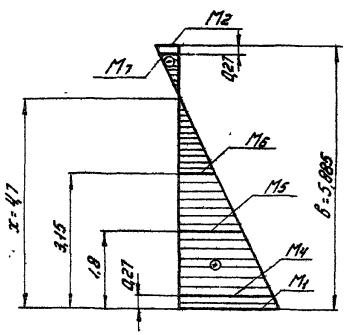


Рис.5.26

$$x = \frac{2250 \cdot 5,885}{2250 + 560} = 4,7 \text{ м};$$

$$M_4 = \frac{2250 \cdot (4,7 - 0,27)}{4,7} =$$

$$= 2110 \text{ кГм};$$

$$M_5 = \frac{2250 \cdot (4,7 - 1,8)}{4,7} =$$

$$= 1380 \text{ кГм};$$

$$M_6 = \frac{2250 \cdot (4,7 - 3,15)}{4,7} =$$

$$= 745 \text{ кГм};$$

$$M_7 = \frac{560 \cdot (5,885 - 4,7 - 0,27)}{1,185} =$$

$$= 435 \text{ кГм}.$$

2. Определение M от действия Me

$$Me = N_n e.$$

Продольное усилие определяется по формуле (5.52)

$$N_{2-1} = 2 \cdot 2273,4 \cdot 0,996 + 2(59 + 2273,4) \cdot 0,932 = 8860 \text{ кГ}.$$

Узловые нагрузки W_3 и W_2 определяются по формулам (5.47) и (5.48)

$$W_3 = \frac{3(240 + 2740)}{4} + 10,3 \cdot (0,5 \cdot 5,745 + 0,87) = 2273 \text{ кГ},$$

$$W_2 = 10,3 \cdot 0,5 (5,885 + 5,745) = 59 \text{ кГ}.$$

Определение реакций от весовых нагрузок

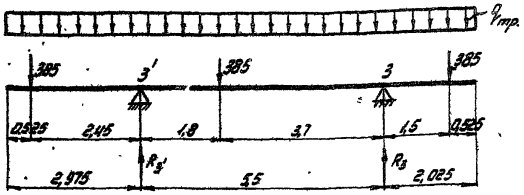


Рис.5.27

Нагрузка от веса траверсы $d_0 = 26$ см, $l_{тр} = 10{,}5$ м,

$$q_{тр} = \frac{632 \cdot 1{,}1}{10{,}5} = 66{,}5 \text{ кГ/м},$$

где 1,1 – коэффициент перегрузки.

$$R_{3'} = \frac{385(3{,}7+5{,}5+2{,}45-1{,}5)+0{,}5 \cdot 66{,}5\,[(2{,}975+5{,}5)^2 - 2{,}025^2]}{5{,}5} =$$

$$= \frac{3900 + 2260}{5{,}5} = 1120 \text{ кГ};$$

$$R_3 = \frac{385(1{,}8+5{,}5+1{,}5-2{,}45)+0{,}5 \cdot 66{,}5\,[(5{,}5+2{,}025)^2 - 2{,}975^2]}{5{,}5} =$$

$$= \frac{2440 + 1588}{5{,}5} = 730 \text{ кГ}.$$

Продольное усилие в стойке на участке 2-1 с учетом предварительного натяжения в раскосах и весовых нагрузок

$$N_{тр} = N_{2-1} + (0{,}5R_3 + 0{,}25 \cdot G_{1ст})\frac{1}{\cos\varphi} + 500(\sin\gamma_1 + \sin\gamma_2) =$$

$$= 8860 + (0{,}5 \cdot 730 + 0{,}25 \cdot 3645)\frac{1}{0{,}978} + 500\,(0{,}7059 + 0{,}682) = 11030 \text{ кГ}.$$

$$M_e = 11030 \cdot 0{,}24 = 2660 \text{ кГм}.$$

Расчетная схема

Эпюра M_{Me}

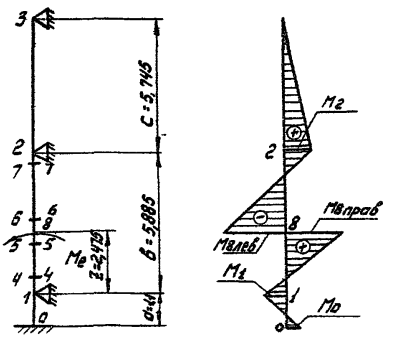


Рис.5.28

Стойка рассчитывается как трехпролетная балка с разными пролётами-см.Г.С.Глушков и др. "Формулы для расчета неразрезных балок и рам",
(Справочное пособие), Машгиз, М.,1963 г., стр.38-39.
Сечения балки приняты постоянными по длине.

Загружение пролета I-2

$$\Delta_1 = \bar{M} = -2660;$$

$$\Delta_2 = 2\alpha\bar{M} = 2 \cdot 0,421 \cdot (-2660) = -2240;$$

$$\Delta_3 = 3\alpha^2\bar{M} = 3 \cdot 0,421^2 (-2660) = -1410;$$

$$\alpha = \frac{z}{\delta} = \frac{2,475}{5,885} = 0,421;$$

$$K_1 = a + b = 1,1 + 5,885 = 6,985;$$

$$K_2 = b + c = 5,885 + 5,745 = 11,63;$$

$$B = 4K_1K_2 - \delta^2 = 4 \cdot 6,985 \cdot 11,63 - 5,885^2 = 290,27;$$

$$F = B - K_2\alpha = 290,27 - 11,63 \cdot 1,1 = 277,48;$$

$$M_1 = -\frac{\delta}{F}\left[(4K_2 - \delta)\Delta_1 - 6K_2\Delta_2 + (2K_2 + \delta)\Delta_3\right] =$$

$$= -\frac{5,885}{277,48}\left[(4 \cdot 11,63 - 5,885)(-2660) - 6 \cdot 11,63(-2240) + \right.$$

$$\left. + (2 \cdot 11,63 + 5,885)(-1410)\right] = -151 \text{ кГм};$$

$$M_0 = -\frac{M_1}{2} = \frac{151}{2} = 75,5 \text{ кГм};$$

$$M_2 = -\frac{3b}{2F}\left[\alpha\Delta_1 + 2b\Delta_2 - (a+2b)\Delta_3\right] =$$

$$= -\frac{3 \cdot 5,885}{2 \cdot 277,48}\left[1,1 \cdot (-2660) + 2 \cdot 5,885(-2240) - (1,1 + 2 \cdot 5,885)(-1410)\right] =$$

$$= +354 \text{ кГм}.$$

Момент в пролете

Эпюра М

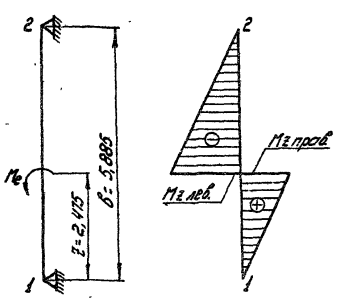


Рис.5.29

$$M_{z\,прав.} = \frac{Me\,z}{\delta} = \frac{2660 \cdot 2,475}{5,885} = 1120 \text{ кГм};$$

$$M_{z\,лев.} = -\frac{Me(\delta - z)}{\delta} = \frac{2660(5,885-2,475)}{5,885} = -1540 \text{ кГм};$$

$$M_{8\,прав} = M_I \frac{\delta - z}{\delta} + M_2 \frac{z}{\delta} + M_{z\,прав} = -151 \cdot \frac{5,885-2,475}{5,885} + 354 \frac{2,475}{5,885} + 1120 = +1180 \text{ кГм};$$

$$M_{8\,лев.} = M_I \frac{\delta - z}{\delta} + M_2 \frac{z}{\delta} + M_{z\,лев} = -1480 \text{ кГм}.$$

Определение M_5 в сечении 5-5

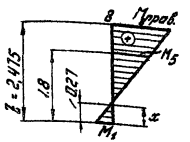


Рис.5.30

$$x = \frac{151 \cdot 2,475}{151 + 11,80} = 0,28\text{м};$$

$$M_4 = 0;$$

$$M_5 = \frac{1180(1,8-0,28)}{2475-0,28} = 821 \text{ кГм}.$$

Определение M_6 в сечениях 6-6 и 7-7

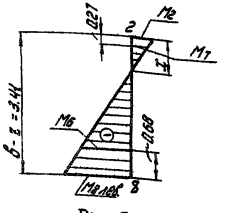


Рис.5.31

$$x = \frac{354 \cdot 3,41}{1480 + 354} = 0,67\text{м};$$

$$M_7 = \frac{354 \cdot 0,4}{0,67} = 212 \text{ кГм};$$

$$M_6 = \frac{1480 \cdot 2,06}{2,74} = 1120 \text{ кГм}.$$

3. Определение M_p от расцентровки раскосов

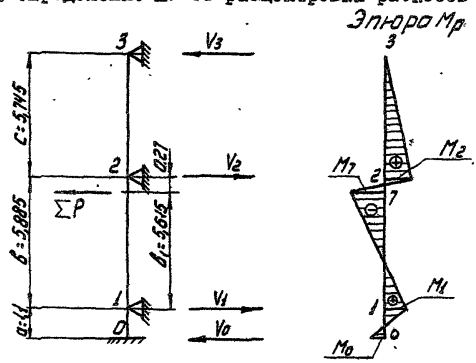


Рис.5.32

$$\alpha = \frac{\delta_1}{\delta} = \frac{5,615}{5,885} = 0,954;$$

$$\Sigma P = 2W_3 + W_2 + 500 \cdot \cos\gamma_1,$$

где 500 - предварительное натяжение в раскосе.

$$\Sigma P = 2 \cdot 2273,4 + 59 + 500 \cdot 0,708 = 4957,8 \text{ кГ}.$$

$$\Delta_1 = \alpha \Sigma P \delta = 0,954 \cdot (-4957,8) \cdot 5,885 = -27793;$$

$$\Delta_2 = \alpha^2 \Sigma P \delta = 0,954^2 \cdot (-4957,8) \cdot 5,885 = -26511;$$

$$\Delta_3 = \alpha^3 \Sigma P \delta = 0,954^3 \cdot (-4957,8) \cdot 5,885 = -25288;$$

$$\Delta_0 = \Sigma P \delta = -4957,8 \cdot 5,885 = -29135;$$

$$K_2 = в + c = 5,885 + 5,745 = 11,63;$$

$$M_1 = -\frac{\delta}{F}\left[(4K_2 - в)\Delta_1 - 6K_2\Delta_2 + (2K_2 + в)\Delta_3\right] =$$

$$= -\frac{5,883}{277,48}(4 \cdot 11,63 - 5,883)(-27793) - 6 \cdot 11,63 \cdot (-26511) +$$

$$+ (2 \cdot 11,63 + 5,883)(-25288) = 348,8 \text{ кГм};$$

$$M_2 = -\frac{3в}{2F}\left[a\Delta_1 + 2в\Delta_2 - (a + 2в)\Delta_3\right] =$$

$$= -\frac{3 \cdot 5,883}{2 \cdot 277,48}\left[1,1 \cdot (-27793) + 2 \cdot 5,883 \cdot (-26511) - (1,1 + 2 \cdot 5,883)(-25288)\right] = +545,2 \text{ кГм};$$

$$M_0 = -\frac{M_1}{2} = -\frac{348,8}{2} = -174,4 \text{ кГм}.$$

Определение реакций на опорах

$$V_0 = \frac{I}{a}(-M_0 + M_I) = \frac{I}{I,I}(+174,4+348,8) = 475 \text{ кГ};$$

$$V_1 = \frac{I}{a}(M_0 - M_I) + \frac{I}{\delta}(\Delta_0 - \Delta_1 - M_I + M_2) =$$

$$= \frac{I}{I,I}(-174,4-348,8) + \frac{I}{5,883}(-29135+27793 - 348,8 + 545,2) =$$

$$= -669,7 \text{ кГ};$$

$$V_2 = \frac{I}{\delta}(\Delta_1 + M_I - M_2) + \frac{I}{C}(-M_2) = \frac{I}{5,885}(-27793+348,8-545,2) +$$

$$+ \frac{I}{5,745}(-545,2) = -4850,9 \text{ кГ};$$

$$V_3 = \frac{I}{C} M_2 = \frac{I}{5,745} \cdot 545,2 = 94,9 \text{ кГ}.$$

Эпюра М

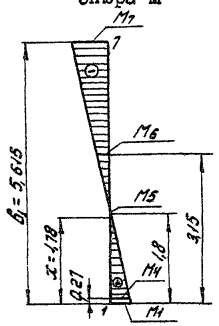


Рис.5.33

Изгибающий момент в сечении 7-7

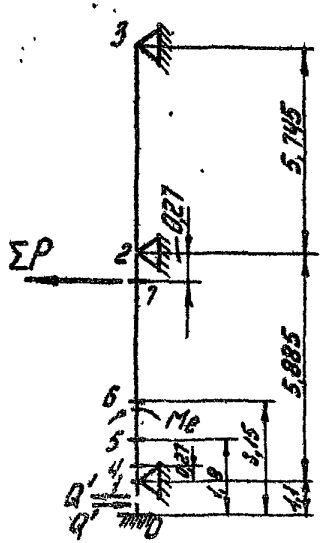
$$M_7 = V_3(C+0,27) - 0,27 V_2 =$$
$$= 94,9(5,745+0,27) - 0,27 \cdot 4850,9 =$$
$$= -740 \text{ кГм};$$

$$x = \frac{348,8 \cdot 5,615}{348,8+740} = 1,78 \text{ м};$$

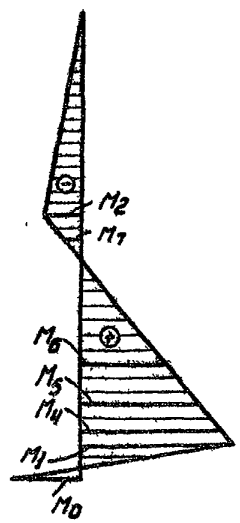
$$M_4 = \frac{348,8(1,78-0,27)}{1,78} = 295 \text{ кГм};$$

$$M_6 = \frac{740(3,15-1,78)}{5,615 - 1,78} = 265 \text{ кГм};$$

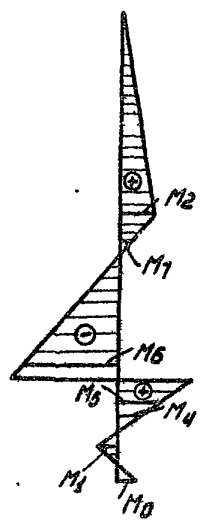
$$M_5 = 0.$$



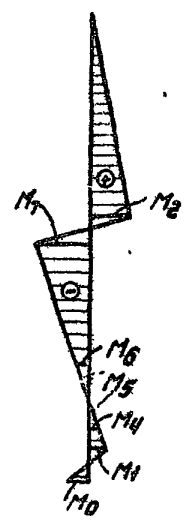
Эпюра $M_{Q'}$



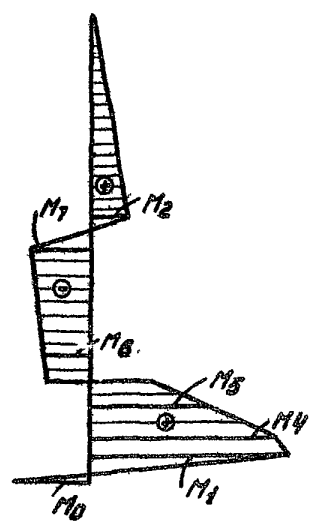
Эпюра M_{He}



Эпюра M_P



Эпюра ΣM



0	- II25	+ 75,5	- I74,5	- I224
I	+ 2250	- 151	+ 348,8	+ 2447,8
2	- 560	+ 354,0	+ 545,2	+ 339,2
4	+ 2II0	0	+ 295	+ 2405
5	+ I380	+ 821	0	+ 2197
6	+ 745	- II20	- 265	- 640
7	- 435	+ 212	- 740	- 963

Проверка прочности древесины в расчетных сечениях производится по формуле (5.71).

Сечение I.

Проверяется пасынок $d_0 = 26$ см отрубом вверх

$d_1 = 26+0,8\cdot3,5 = 28,8$ см; $F_1 = 0,785\cdot28,8^2 = 650$ см^2;

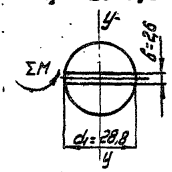


Рис.5.34

$$J_1 = \frac{\pi d_1^4}{64} - \frac{\delta\cdot d_1^3}{12} = \frac{3,14\cdot28,8^4}{64} - \frac{2,6\cdot28,8^3}{12} = 28500 \text{ см}^4.$$

$$W_1 = \frac{28500}{0,5\cdot28,8} = 1980 \text{ см}^3,$$ по формуле (5.67).

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{244780\cdot130}{1980\cdot160} + \frac{11030}{650} = 117 < 130 \text{ кГ/см}^2.$$

Сечение 6 – 6

Проверяется стойка $d_6 = 20$ см отрубом вниз.

$d_6 = 20+0,8\cdot1,65 = 21,32$ см; $F_6 = 0,785\cdot21,32^2 = 356$ см^2;

$$J_6 = \frac{3,14\cdot21,32^4}{64} - \frac{2,6\cdot21,32^3}{12} = 7900 \text{ см}^4.$$

$$W_6 = \frac{7900}{0,5\cdot21,32} = 740 \text{ см}^3.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{64000\cdot130}{740\cdot160} + \frac{11030}{356} = 73 < 130 \text{ кГ/см}^2.$$

РАСЧЕТ ПРИЖАТОЙ СТОЙКИ И ПАСЫНКА В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Схема нагрузок III

Расчетная схема стойки и пасынка

Схема опоры	для А-образной рамы	для П-образной плоскости

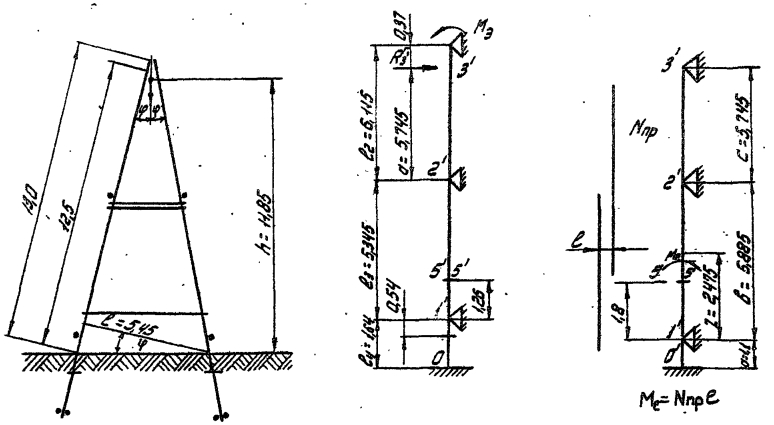


Рис.5.35

Расчет опоры в аварийном режиме производится для провода АС-150 при $\beta=0^0$ (обрыв двух проводов).

Определение реакций от внешних нагрузок

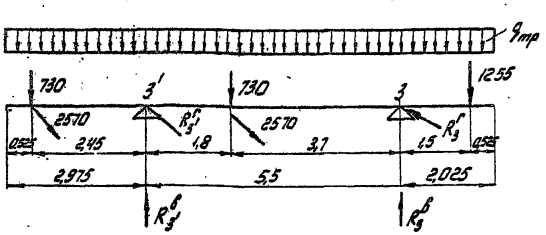


Рис.5.36

$q_{пр}$ = 66,5 кГ п.м. (см.лист 69)

$$R^{б}_{3'} = \frac{-1255\cdot1,5+730(7,95+3,7)+0,5\cdot66,5\ (-2,025^2+8,475^2)}{5,5} =$$

$$= \frac{-1870+8500+2260}{5,5} = 1615\ кГ;$$

$$R^{б}_{3} = \frac{730\cdot(-2,45+1,8)+1255\cdot7,0+0,5\cdot66,5(-2,975^2+7,525^2)}{5,5} =$$

$$= \frac{-475+8800+1588}{5,5} = 1800\ кГ;$$

$$R^{г}_{3'} = \frac{2570(-3,7-5,5-2,45)}{5,5} = -5450\ кГ;$$

$$R^{г}_{3} = \frac{2570\ (2,45-1,8)}{5,5} = 310\ кГ.$$

Стойка проверяется в сечении 3′ на действие суммарного изгибающего момента от силы $R^{г}_{3'}$ и момента Мэ от эксцентрично приложенной продольной силы.

Пасынок проверяется в сечении 5′, на суммарный изгибающий момент, определяемый как геометрическая сумма изгибающих моментов от силы $R^{г}_{3'}$ и момента Мэ, действующих в плоскости А-образной рамы и момента $M_e = N_{пр} \times e$, действующего в плоскости П.

I. А - образная грань

Определение изгибающих моментов от силы $R^{г}_{3'}$ и момента Мэ

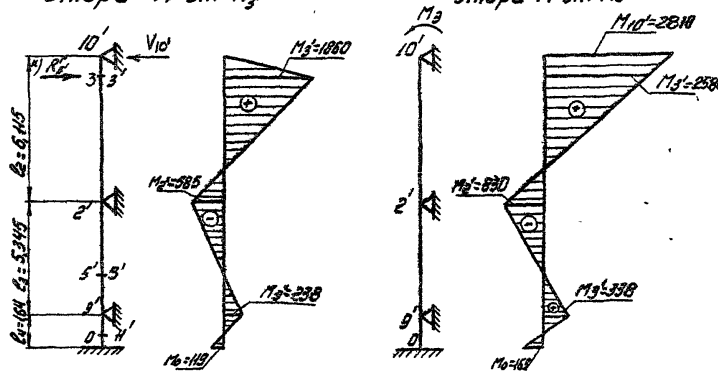


Рис.5.37

Реакция $R^{r}_{3'}$ воспринимается одной стойкой, так как конструкция опоры позволяет одвижку траверсы.

От силы $R^{r}_{3'}$

$$M_2 = \frac{(4K_1 - \ell_4)\ell_2}{2F}\left(2\Delta_1 - 3\Delta_2 - \Delta_3\right);$$

$K_1 = \ell_3 + \ell_4 = 5{,}345 + 1{,}64 = 6{,}985;$

$F = B - K_2\ell_4 = 291{,}63 - 11{,}46 \cdot 1{,}64 = 272{,}84;$

$B = 4K_1K_2 - (\ell_3)^2 = 4 \cdot 6{,}985 \cdot 11{,}46 - (5{,}345)^2 = 291{,}63;$

$K_2 = \ell_2 + \ell_3 = 6{,}115 + 5{,}345 = 11{,}46;$

$\Delta_1 = \alpha R^{r}_{3'}\ell_2 = 0{,}94 \cdot 5450 \cdot 6{,}115 = 31326;$

$\Delta_2 = \alpha^2 R^{r}_{3'}\ell_2 = 0{,}94^2 \cdot 5450 \cdot 6{,}115 = 29460;$

$\Delta_3 = \alpha^3 R^{r}_{3'}\ell_2 = 0{,}94^3 \cdot 5450 \cdot 6{,}115 = 27693;$

$$\alpha = \frac{a}{\ell_2} = \frac{5{,}745}{6{,}115} = 0{,}94;$$

$\Delta_0 = R^{r}_{3'} \times \ell_2 = 5450 \cdot 6{,}115 = 33327;$

$$M_2' = -\frac{(4 \cdot 6{,}985 - 1{,}64)\ 6{,}115}{2 \cdot 272{,}84}(2 \cdot 31326 - 3 \cdot 29460 + 27693) =$$

$$= -0{,}296\ (62652 - 88380 + 27693) = -585 \text{ кГм};$$

$$M_4' \equiv \frac{2\ell_3}{4K_1 - \ell_4} M_2 = -\frac{2 \cdot 5{,}345}{4 \cdot 6{,}985 - 1{,}64}(-585) = +238 \text{ кГм};$$

$$M_0 = -\frac{M_4'}{2} = -119 \text{ кГм};$$

$$V_{10}' = \frac{1}{\ell_2}(\Delta_1 + M_2) = \frac{1}{6{,}115}(31326 - 585) = 5030 \text{ кГ};$$

$M_3' = 5030 \cdot 0{,}37 = 1860$ кГм.

Определение М. в сечении $11'-11'$

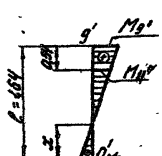


Рис.5.38

$$x = \frac{119 \cdot 1{,}64}{238 + 119} = 0{,}55 \text{ м};$$

$$M_{11}' = \frac{238 \cdot 0{,}55}{1{,}09} = 120 \text{ кГ}.$$

Определение M_5 в сечении $5'-5'$

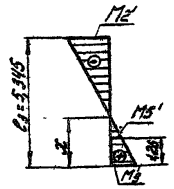


Рис.5.39

$$x = \frac{238 \cdot 5{,}345}{238+585} = 1{,}54 \text{ м};$$

$$M_5 = \frac{238 \cdot (1{,}54-1{,}26)}{1{,}54} = 45 \text{ кГм}.$$

От момента M_9

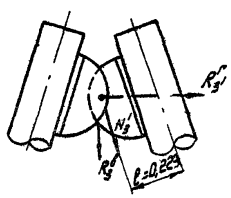


Рис.5.40

$$M_{10}' = M_9 = N_3' \cdot 0{,}223 = 12700 \cdot 0{,}223 =$$

$$= 2810 \text{ кГм};$$

$$N_3' = \frac{R_{3'}^{c} \cdot (h+0{,}37)}{a} + \frac{0{,}5 R_{3'}^{б}}{\cos\varphi} =$$

$$= \frac{5450 \cdot 12{,}22}{5{,}45} + \frac{0{,}5 \cdot 1615}{0{,}978} = 12700 \text{ кГ}.$$

N_3' – продольное усилие до сечения $3'-3'$

$\Delta_1 = M = -2810;$

$\Delta_2 = 2M = -2 \cdot 2810 = -5620;$

$\Delta_3 = 3M = -3 \cdot 2810 = -8430;$

$$M_2' = -\frac{(4 \cdot 6{,}985 - 1{,}64) 6{,}115}{2 \cdot 272{,}84} (-2 \cdot 8810 + 3 \cdot 5620 - 8430) = 830 \text{ кГм},$$

$$M_9' = -\frac{2 \cdot 5{,}345}{4 \cdot 6{,}985 - 1{,}64} (-830) = +338 \text{ кГм};$$

$$M_9 = -\frac{M_9'}{2} = -169 \text{ кГм}.$$

Определение M_3 в сечении $3'-3'$

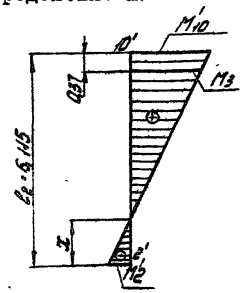


Рис.5.41

$$x = \frac{830 \cdot 6{,}115}{830+2810} = 1{,}4 \text{ м};$$

$$M_3 = \frac{2810(6{,}115-1{,}4-0{,}37)}{6{,}115-1{,}4} = 2580 \text{ кГм}.$$

Определение М в сечениях II'-II' и 5'-5'

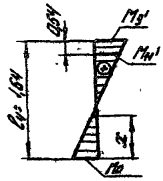


Рис.5,42

$$x = \frac{169 \cdot 1,64}{338+169} = 0,55 \text{ м};$$

$$M_{H'} = \frac{338 \cdot 0,55}{1,64-0,55} = 170 \text{ кГм};$$

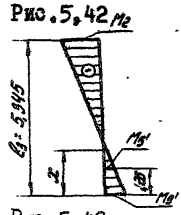


Рис.5.43

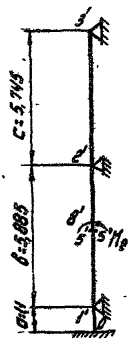
$$x = \frac{338 \cdot 5,345}{338+830} = 1,54 \text{ м};$$

$$M_{5'} = \frac{338(1,54-1,26)}{1,54} = 62 \text{ кГм}.$$

П. П-образная плоскость

Определение М от эксцентричного приложения вертикали нагрузки

Расчетная схема



Эпюра M_{Me}

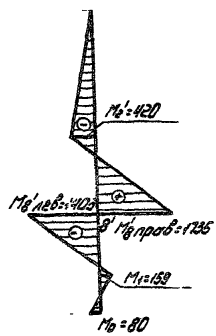


Рис.5.44

$N_{пр} = N_2 + G_{ст} = 12700 + 1,1 \cdot 416 = 13150$ кГ.

$M = N_{пр} \cdot e = 13150 \cdot 0,238 = 3140$ кГм;

$\Delta_1 = M = 3140$;

$\Delta_2 = 2\alpha M = 2 \cdot 0,421 \cdot 3140 = 2650$;

$\Delta_3 = 2\alpha^2 M = 3 \cdot 0,421^2 \cdot 3140 = 1670$;

Формулы для определения M_1' и M_2' см.лист 79.

$$M_1' = \frac{5,885}{277,48}(4.11,63-5,885)\cdot 3140 - 6\cdot 11,63\cdot 2650 + (2\cdot 11,63+5,885)\cdot 1670 = 159 \text{ кГм};$$

$$M_0 = \frac{M_1}{2} = -80 \text{ кГм};$$

$$M_2' = -\frac{3\cdot 5,885}{2\cdot 277,48}\left[1,1\cdot 3140+2\cdot 5,885\cdot 2650-(1,1+2\cdot 5,885)\,1670\right] = 420 \text{ кГм}.$$

Момент в пролете.

Расчетная схема Эпюра М

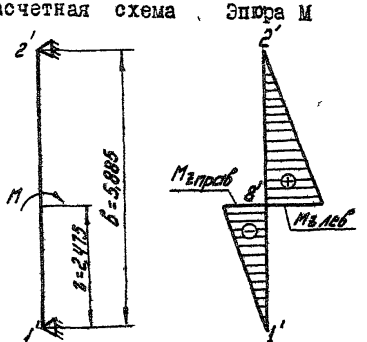


Рис.5.45

Формулы для определения M_1 см.лист

$$M_{1проб} = \frac{3140\cdot 2,475}{5,885} = 1320 \text{ кГм};$$

$$M_{влев} = \frac{3140\cdot(5,885-2,475)}{5,885} = 1820 \text{ кГм};$$

$$M_{влев} = 159\cdot\frac{5,885-2,475}{5,885} - 420\cdot\frac{2,475}{5,885} - 1320 = -1405 \text{кГм}$$

$$M_{вправ} = 92 - 177+1820 = +1735 \text{ кГм}.$$

Определение M_5' в сечении 5'-5'

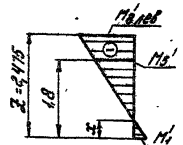


Рис.5.46

$$z = \frac{159\cdot2,475}{159+1405} = 0,25 \text{ м};$$

$$M_5' = \frac{1405\cdot(1,8-0,25)}{2,475-0,25} = 985 \text{ кГм}.$$

Определение напряжений в расчетных сечениях.

Сечение 3'-3'

Проверяется стойка $d_0 = 20$ см, отрубом вниз

$d_3' = 20+0,8(11,0-0,87) = 28,1$ см.

$F_3' = 0,785\cdot28,1^2 = 620 \text{ см}^2$; $W_3' = 0,1\cdot28,1^3 = 2220 \text{ см}^3$.

Суммарный изгибающий момент в сечении

$\Sigma M_3' = 1860+2580 = 4440$ кГм.

Напряжение в сечении

$$\frac{444000\cdot210}{2220\cdot260} + \frac{12700}{620} = 182 < 210 \text{ кГ/см}^2.$$

Сечение 5'-5'

Проверяется пасынок $d_0 = 26$ см, отрубом вверх.

Суммарный изгибающий момент

$M_5' = \sqrt{(45+62)^2+985^2} = 960$ кГм.

$d_5' = 26+0,8\cdot1,7 = 27,36$ см.

$F_5' = 0,785\cdot27,36^2 = 585 \text{ см}^2$; $W_5' = 0,1\cdot0,95\cdot27,36^3 = 1960 \text{ см}^3$.

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{96000 \cdot 210}{1960 \cdot 260} + \frac{13150}{585} = 63 < 210 \text{ кГ/см}^2.$$

РАСЧЕТ ТРАВЕРСЫ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ

Схема нагрузок III

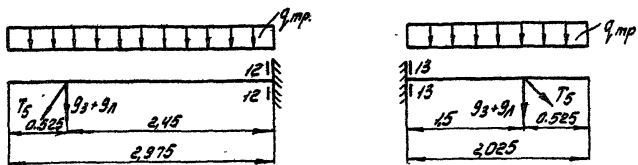


Рис.5.47

Траверса проверяется как со стороны отруба, так и со стороны комля.

Сечение I2-I2

Прочность траверсы при одновременном действии изгибающих моментов во взаимно перпендикулярных плоскостях определяется по формуле (5.66)

$$\frac{\sqrt{M_{12}^{в} + M_{12}^{г}}}{W_{расч.}} \leq R_u$$

Изгибающий момент от вертикальных сил

$$M_{12}^{в} = 0,5 \cdot 66,5 \cdot 2,975^2 + (730 + 200^{*}) \cdot 1,1)\, 2,45 = 2622 \text{ кГм};$$

*) вес монтера с люлькой.

Изгибающий момент от горизонтальных сил

$$M_{12}^{г} = 2570 \cdot 2,45 = 6300 \text{ кГм};$$

Суммарный изгибающий момент

$$\Sigma M_{12} = \sqrt{2622^2 + 6300^2} = 6824 \text{ кГм}.$$

Определение момента сопротивления сечения, ослабленного отверстием под болт.

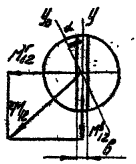


Рис.5.48

d_{12} = 26+0,8·7,525 = 3202 см - диаметр траверсы в сечении I2;

d = 2,6 см - диаметр отверстия под болт.

$$tg\alpha = \frac{M^{\delta}_{12}}{M^{\Gamma}_{12}} = \frac{2622}{6300} = 0,416; \quad \alpha = 22^{0}36';$$

$Sin\alpha$ = 0,384; $COS\alpha$ = 0,923.

Момент инерции сечения I2-I2 относительно оси y_0 определяется по формуле (5.68)

$$J_{\alpha} = \frac{3,14\cdot 32,02^{4}}{64} - \frac{2,6\cdot 32,02}{12}(32,02^{2}\cdot 0,384^{2}+2,6^{2}\cdot 0,923^{2}) =$$

$= 49830\ см^{4}$.

Момент сопротивления сечения определяется по формуле (5.67)

$$W_{12} = \frac{49830}{0,5\cdot 32,02} = 3120\ см^{3}.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{682400}{3120} = 218 < 260\ кГ/см^{2}.$$

Сечение I3-I3

Изгибающий момент от вертикальных сил

$M^{\delta}_{13} = 0,5\cdot 66,5\cdot 2,025^{2}+(730+200\cdot 1,1)\ 1,5 = 1570$ кГм.

Изгибающий момент от горизонтальных сил

$$M^{\Gamma}_{13} = 2570\cdot 1,5 = 3860\ кГм.$$

Суммарный изгибающий момент

$$\Sigma M_{13} = \sqrt{1570^{2}+3860^{2}} = 4167\ кГм.$$

d_{13} = 26+0,8·2,025 = 27,62 см - диаметр траверсы в сечении I3.

$W_{13} = 0,95\cdot 0,1\cdot 27,62^{3} = 2010\ см^{3}$ - момент сопротивления сечения с учетом ослабления,

где 0,95 – коэффициент ослабления

$$K_{осл} = \frac{W_{12}}{0,1 \cdot d_{12}} = \frac{3120}{0,1 \cdot 32,02^3} = 0,95.$$

Напряжение в расчетном сечении

$$\frac{416700}{2010} = 208 < 260 \text{ кГ/см}^2.$$

ПОДСЧЕТ НЕОБХОДИМОГО КОЛИЧЕСТВА БОЛТОВ В СОЕДИНЕНИИ СТОЙКИ С ПАСЫНКОМ

Схема нагрузок III

Определение реакций от вертикальных и горизонтальных нагрузок

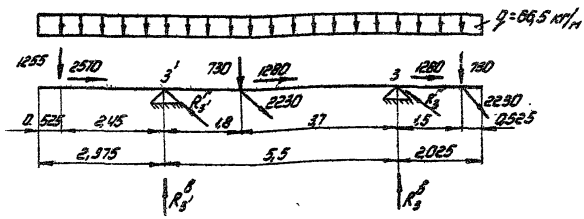


Рис.5.49

$$R_3^{\delta\prime} = \frac{730(-1,5+3,7)+1255 \cdot 7,95+0,5 \cdot 66,5(-2,025^2+8,475^2)}{5,5} -$$

$$= \frac{+1610+10000+2260}{5,5} = 2510 \text{ кГ};$$

$$R_3^{\delta} = \frac{730(1,8+7,0)-1255 \cdot 2,45+0,5 \cdot 66,5 \ (7,525^2-2,975^2)}{5,5} =$$

$$= \frac{6400-3080+1588}{5,5} = 895 \text{ кГ};$$

$$R_3^{\Gamma} = \frac{2230 \ (7,0+1,8)}{5,5} = 3570 \text{ кГ};$$

$$R_3^{\Gamma\prime} = \frac{2230 \cdot (1,5-3,7)}{5,5} = -890 \text{ кГ}.$$

Прижимающее усилие в стойке от горизонтальной нагрузки, передающееся через раскосы

$$N_{пр} = N'_{пр} + N''_{пр} + N'''_{пр} + (0{,}5 R_э + 0{,}25 G''_{оп}) \frac{I}{0{,}978};$$

$N'_{пр} = \Sigma S \operatorname{tg} \gamma_1 + 500 \cdot \sin \gamma_1 = 2570 \cdot 0{,}996 + 500 \cdot 0{,}7059 = 2915$ кГ.

$N''_{пр} = \Sigma S \operatorname{tg} \gamma_2 + 500 \cdot \sin \gamma_2 = 2570 \cdot 0{,}932 + 500 \cdot 0{,}682 = 2755$ кГ,

$\Sigma S = \frac{2570 + 2 \cdot 1285}{2} = 2570$ кГ - горизонтальная нагрузка от тяжения по проводам;

500 кГ - предварительное натяжение в раскосах.

$N'''_{пр} = \frac{R'_э \cdot h}{\ell} = \frac{3570 \cdot 11{,}86}{5{,}45} = 7700$ кГ.

$G''_{оп} = 4600$ кГ - вес опоры без учета веса пасынка.

$N_{пр} = 2915 + 2755 + 7700 + (0{,}5 \cdot 895 + 0{,}25 \cdot 1{,}1 \cdot 4600) \frac{I}{0{,}978} = 15120$ кГ.

Как показали предыдущие расчеты количество болтов, необходимое для крепления стойки и пасынка, определяется по худшему случаю - из условия изгиба болта по формуле (5.73)

$$T_и = 450 \cdot 1{,}4 \cdot 0{,}9 \cdot 2{,}7^2 = 4600 \text{ кГ}.$$

$$n = \frac{15120}{4600} = 4 \text{ болта}.$$

Приложение

Т А Б Л И Ц Ы

Таблица I

Объём круглого леса, $м^3$

Длина бревен в м	Диаметр бревен в верхнем отрубе, в см									
	I4	I6	I8	20	22	24	26	28	30	32
I.0	0.0I6	0.02I	0.027	0.033	0.040	0.048	0.057	0.067	0.077	0.087
I.5	0.025	0.033	0.04I	0.05I	0.062	0.075	0.089	0.I04	0.II9	0.I35
2.0	0.035	0.044	0.056	0.069	0.084	0.I03	0.I23	0.I44	0.I65	0.I9
2.25	0.039	0.049	0.063	0.077	0.095	0.II6	0.I39	0.I6I	0.I85	0.2I
2.50	0.043	0.056	0.07I	0.087	0.I07	0.I30	0.I54	0.I80	0.20	0.23
2.75	0.047	0.063	0.079	0.097	0.II8	0.I43	0.I69	0.I98	0.23	0.25
3.0	0.052	0.069	0.086	0.I07	0.I30	0.I57	0.I85	0.22	0.25	0.28
3.25	0.057	0.075	0.095	0.II6	0.I43	0.I70	0.20	0.23	0.27	0.30
3.50	0.06I	0.082	0.I03	0.I26	0.I54	0.I84	0.2I	0.25	0.29	0.33
3.75	0.067	0.088	0.III	0.I36	0.I66	0.I98	0.23	0.27	0.3I	0.35
4.0	0.073	0.095	0.I20	0.I47	0.I78	0.2I	0.25	0.29	0.33	0.38
4.25	0.078	0.I02	0.I29	0.I58	0.I90	0.22	0.26	0.3I	0.35	0.40
4.50	0.080	0.II0	0.I38	0.I70	0.20	0.24	0.28	0.33	0.38	0.43
4.75	0.090	0.II7	0.I47	0.I80	0.2I	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
5.0	0.097	0.I24	0.I56	0.I90	0.23	0.27	0.32	0.37	0.42	0.48
5.25	0.I04	0.I3[illegible]	0.I66	0.20	0.24	0.28	0.34	0.39	0.45	0.5I
5.50	0.II0	0.I40	0.I75	0.2I	0.25	0.30	0.35	0.4I	0.47	0.53
5.75	0.II6	0.I47	0.I84	0.22	0.26	0.3I	0.37	0.43	0.49	0.56
6.0	0.I23	0.I55	0.I94	0.23	0.28	0.33	0.39	0.45	0.52	0.59
6.25	0.I28	0.I64	0.20	0.24	0.29	0.34	0.4I	0.47	0.54	0.62
6.50	0.I35	0.I72	0.2I	0.26	0.3I	0.36	0.43	0.49	0.56	0.64
6.75	0.I43	0.I80	0.22	0.27	0.32	0.38	0.44	0.5I	0.59	0.67
7.0	0.I50	0.I89	0.23	0.28	0.34	0.40	0.46	0.53	0.6I	0.70
7.25	0.I57	0.I96	0.24	0.29	0.35	0.4I	0.49	0.56	0.64	0.73
7.50	0.I64	0.20	0.25	0.30	0.37	0.43	0.50	0.58	0.66	0.76
7.75	0.I7I	0.2I	0.26	0.32	0.38	0.45	0.52	0.60	0.69	0.79
8.0	0.I79	0.22	0.28	0.33	0.40	0.47	0.54	0.63	0.72	0.82
8.25	0.I87	0.23	0.29	0.35	0.4I	0.48	0.56	0.65	0.75	0.85
8.50	0.I95	0.24	0.30	0.36	0.43	0.50	0.58	0.67	0.78	0.88
8.75	0.20	0.25	0.3I	0.38	0.44	0.52	0.6I	0.70	0.80	0.9I
9.0	0.2I	0.26	0.32	0.39	0.46	0.55	0.63	0.72	0.83	0.94

Продолжение табл.I

Объём круглого леса, $м^3$

Длина бревна в м	Диаметр бревен в верхнем отрубе, в см									
	I4	I6	I8	20	22	24	26	28	30	32
9.25	0.22	0.27	0.33	0.40	0.48	0.56	0.65	0.75	0.86	0.97
9.50	0.23	0.28	0.35	0.42	0.50	0.58	0.67	0.78	0.89	I.00
I0.0	0.253	0.3I4	0.386	0.46	0.55	0.64	0.74	0.85	0.96	
II.0	0.29I	0.354	0.436	0.52	0.62	0.72	0.84	0.96	I.08	
I2.0	0.327	0.404	0.496	0.59	0.69	0.80	0.93	I.07	I.20	
I3.0	0.377	0.454	0.556	0.66	0.77	0.90	I.04	I.I9	I.34	
I4.0	0.4I7	0.5I4	0.6I6	0.74	0.86	0.99	I.I5	I.3I	I.48	
I5.0	0.483	0.584	0.706	0.83	0.97	I.I2	I.28			
I6.0	0.533	0.644	0.776	0.9I	I.07	I.23	I.40			
I7.0	0.593	0.7I4	0.846	0.99	I.I6	I.34	I.52			
I8.0	0.653	0.784	0.926	I.09	I.27	I.46	I.66			

Примечания: I. Объёмы бревен $l > 9{,}5$ м исчислялись как сумма объёмов $2^{х}$, примерно равных по длине отрезков. Объём каждого из этих отрезков определяется по ГОСТ 2708-44*, при этом в отрубе $2^{го}$ отрезка принимался исходя из сбега 0,8 см на пог.м.

2. Таблица составлена по ГОСТ 2708-44*.

Таблица 2

Объём круглого леса, $м^3$

Длина бревен в м	Диаметр бревен в верхнем отрубе, в см									
	I4	I6	I8	20	22	24	26	28	30	32
0.50	0.008	0.0I0	0.0I3	0.0I6	0.0I9	0.023	0.027	0.03I	0.036	0.04I
0.60	0.0I0	0.0I2	0.0I6	0.0I9	0.023	0.028	0.032	0.038	0.043	0.049
0.70	0.0II	0.0I5	0.0I8	0.023	0.027	0.032	0.038	0.044	0.050	0.057
0.80	0.0I3	0.0I7	0.02I	0.026	0.03I	0.037	0.043	0.050	0.058	0.065
0.90	0.0I5	0.0I9	0.024	0.029	0.034	0.042	0.049	0.057	0.065	0.074

Таблица 3

Вес круглого леса, кГ

Длина бревен в м	Диаметр бревен в верхнем отрубе, в см									
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
1.0	13	17	22	26	32	38	46	54	62	70
1.5	20	26	33	41	50	60	71	83	95	108
2.0	28	35	45	55	67	82	98	115	132	152
2.25	31	39	50	62	76	93	110	129	148	168
2.50	34	45	57	70	86	104	123	144	160	184
2.75	38	50	63	78	94	114	135	158	184	200
3.0	42	55	69	86	104	126	148	176	200	224
3.25	46	60	76	93	114	136	160	184	216	240
3.50	49	66	82	101	123	147	168	200	232	264
3.75	54	70	89	109	133	158	184	216	248	280
4.0	58	76	96	118	142	168	200	232	264	304
4.25	62	82	103	126	152	176	208	248	280	320
4.50	67	88	110	135	160	192	224	264	304	344
4.75	72	94	118	144	168	200	240	280	320	360
5.0	78	99	125	152	184	216	256	296	336	384
5.25	83	106	133	160	192	224	272	312	360	408
5.50	88	112	140	168	200	240	280	328	376	424
5.75	93	118	147	176	208	248	296	344	392	448
6.0	98	124	155	184	224	264	312	360	416	472
6.25	102	131	160	192	232	272	328	376	432	496
6.50	108	138	168	208	248	288	344	392	448	512
6.75	114	144	176	216	256	304	352	408	472	536
7.0	120	151	184	224	272	320	368	424	488	560
7.25	126	157	192	232	280	328	392	448	512	584
7.50	131	160	200	240	296	344	400	464	528	608
7.75	137	168	208	256	304	360	416	480	552	632
8.0	143	176	224	264	320	376	432	504	576	656
8.25	150	184	232	280	328	384	448	520	600	680
8.50	156	192	240	288	344	400	464	536	624	704
8.75	160	200	248	304	352	416	488	560	640	728
9.0	168	208	256	312	368	440	504	576	664	752
9.25	176	216	264	320	384	448	520	600	688	776

Продолжение табл.3

Вес круглого леса, кГ

Длина бревен в м	Диаметр бревна в верхнем отрубе, в см									
	I4	I6	I8	20	22	24	26	28	30	32
9.50	I84	224	280	336	400	464	536	624	7I2	800
I0.0	202	25I	309	368	440	5I2	592	680	768	
II.0	233	283	349	4I6	496	576	672	768	364	
I2.0	262	323	397	472	552	640	744	856	960	
I3.0	302	363	445	528	6I6	720	832	952	I072	
I4.0	334	4II	493	592	688	792	920	I048	II8о	
I5.0	386	467	565	664	776	896	I024			
I6.0	426	5I5	62I	728	856	984	II20			
I7.0	474	57I	677	792	928	I072	I2I6			
I8.0	522	627	74I	872	I0I6	II68	I328			

Примечание. Вес круглого леса определен при объёмном весе древесины 800 кГ/м^3.

Таблица 4

Геометрические характеристики круглых сечений

Диаметр d, в см	Длина окружности в см	Площадь F, в см^2	Момент инерции J, в см^4	Момент сопротивления W, в см^3	Радиус инерции r, в см
I4	44.0	I54.0	I886	269	3.50
I5	47.I	I76.7	2485	33I	3.75
I6	50.3	20I.I	3217	402	4.00
I7	53.4	227.0	4I00	482	4.25
I8	56.5	254.5	5I53	573	4.50
I9	59.7	283.5	6397	673	4.75
20	62.8	3I4.2	7854	785	5.00
2I	66.0	346.3	9547	909	5.25
22	69.I	380.I	II499	I045	5 50
23	72.3	4I5.5	I3737	II94	5.75
24	75.4	452.4	I6286	I357	6.00

Продолжение табл 4

Диаметр d, в см	Длина окружности, в см	Площадь F, в $см^4$	Момент инерции J, в $см^4$	Момент сопротивления W, в см2	Радиус инерции z, в см
25	78.5	490.0	I9175	I534	6.25
26	8I.7	530.9	22432	I726	6.50
27	84.8	572.6	26087	I932	6.75
28	88.0	6I5.8	30I72	2I55	7.00
29	9I.I	650.5	34719	2394	7.25
30	94.2	706.9	39761	2651	7.50
3I	97:I	755	45353	2925	7.75
32	I00.5	804	5I472	32I7	8.00
33	I03.5	855	58214	3528	8.25
34	I06.7	908	65597	3859	8.50
35	I09.9	962	73662	4209	8.75
36	II3.0	I0I8	82448	4580	9.00
37	II6.2	I075	9I988	4973	9.25
38	II9.3	II34	I02354	5387	9.50
39	I22.5	II95	III36I	5824	9.75
40	I25.6	I257	I25664	6283	I0.00

Примечание. Таблица составлена по справочнику проектировщика под редакцией Отрешко А.И.(табл.II.I)

Таблица 5

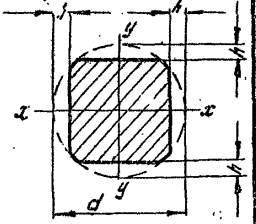
Значения коэффициентов "К" для определения геометрических характеристик поперечных сечений бревен, опиленных на один, два и четыре канта

Тип сечений	Обозначение коэффициентов	Значения коэффициентов K_i при отношении h:d											
		0.00	0.05	0.10	0.146	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
Бревна опиленные на 1 кант	K_1=	I	0.981	0.948	–	0.905	0.857	0.805	0.747	0.688	0.625	0.564	0.50
	K_{2x}=	I	0.933	0.329	–	0.717	0.607	0.503	0.409	0.326	0.251	0.183	0.1[illegible]
	K_{3x}=	I	0.950	0.871	–	0.779	0,694	0.607	0.514	0.445	0.369	0.298	0.243
	$K_{cy}=K_{3y}$	I	0.997	0.985	–	0.960	0.922	0.874	0.813	0.743	0.665	0.585	0.500
	K_{4x}=	0.250	0.244	0.234	–	0.222	0.210	0.198	0.185	0.172	0,158	0.144	0.132
	K_{4y}=	0.250	0.252	0.255	–	0.258	0.259	0.260	0.261	0.260	0.258	0.255	0.250
	K_3=	0	0.009	0.024	–	0.040	0.063	0.086	0.109	0.134	0.160	0.185	0.212
Бревна опиленные симметрично на 2 канта	K_1=	I	0.963	0.896	–	0.811	0.715	0.609	0.495	0.376	0.250	0.127	0
	K_{2x}=	I	0.868	0.676	–	0.487	0.324	0,194	0.103	0.045	0.011	0	0
	K_{3x}=	I	0.964	0.844	–	0.695	0.540	0.388	0.258	0.150	0.055	0	0
	$K_{cy}=K_{3y}$=	I	0.994	0.969	–	0.919	0.815	0.747	0,626	0.487	0.330	0.170	0
	K_{4x}=	0.250	0.238	0.217	–	0.194	0.168	0.141	0.114	0.086	0.052	0.005	0
	K_{4y}=	0.250	0.254	0.260	–	0.266	0.272	0.277	0.281	0.284	0.287	0.289	0

3340 тм-Т1-100

-100-

Тип сечений	Обозначения коэффициента	Значения коэффициентов K_i при отношении $h:d$											
		0.00	0.05	0.10	0.146	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
Бревна, опиленные на 4 канта	$K_1=$	I	0.925	0.792	0.637	–	–	–	–	–	–	–	–
	$K_{2x}=K_{2y}=$	I	0.862	0.645	0.425	–	–	–	–	–	–	–	–
	$K_{3x}=K_{3y}=$	I	0.958	0.806	0.600	–	–	–	–	–	–	–	–
	$K_{4x}=K_{4y}=$	0.250	0.242	0.226	0.204	–	–	–	–	–	–	–	–



$F=K_1F_{кр}$; $J_x=K_{2x}J_{кр}$; $J_y=K_{2y}J_{кр}$; $W_x=K_{3x}W_{кр}$; $W_y=K_{3y}J_{кр}$; $z_x=K_{4x}d$; $z_y=K_{4y}d$; $y_{в.т.}=K_5d$;

Примечание. Таблица составлена по справочнику проектировщика под редакцией Отрешко А.И. (табл.II.2).

3340 тм-Т1 107

gost.e-ecolog.ru