Министерство энергетики и электрификации СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
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 3

СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

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

№ 3534тм-т2

МОСКВА-1976

gost.e-ecolog.ru

В разработке участвовали:

Главный технолог отдела линий	Ф.И.Лялин
Главный конструктор отдела линий	Ю.А.Болдин
Руководитель группы техотдела	Н.Е.Соловьева

СОСТАВ "РУКОВОДСТВА"

Раздел I.	Общие положения	3534тм-тI
Раздел 2.	Сочетания нагрузок, нормативные и расчетные нагрузки	3534тм-тI
Раздел 3.	Стальные конструкции	3534тм-т2
Раздел 4.	Железобетонные конструкции	304Iтм-тI
Раздел 5.	Деревянные конструкции	334Oтм-тI
Раздел 6.	Основания	304Iтм-т2
Раздел 7.	Свайные фундаменты	304Iтм-т3

АННОТАЦИЯ

Раздел "Стальные конструкции" Руководства по проектированию опор и фундаментов линий электропередачи и распределительных устройств подстанций напряжением выше I кВ разработан в развитие главы СНиП II-А.10-71 "Строительные конструкции и основания. Основные положения" и главы СНиП II-В.3-72 "Стальные конструкции. Нормы проектирования" и отражает специфические особенности проектирования опор ВЛ и ошиновки ОРУ.

В разделе использованы изменения и дополнения главы СНиП II-И.9-62 "Линии электропередачи напряжением выше I кВ. Нормы проектирования", утвержденные постановлением Госстроя СССР от 10 апреля 1975 г., а также материалы "Инструкции по расчету стальных опор и фундаментов к ним линий электропередачи напряжением выше I кВ" № 1562тм. Энергосетьпроект 1965 г.

СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛА

		Стр.
I.	Общие положения	6
II.	Материалы для стальных конструкций и соединений	7
III.	Расчетные характеристики материалов и соединений	23
IУ.	Физические характеристики материалов	33
У.	Расчет конструкции	33
УI.	Расчет элементов	34
УII.	Расчетные длины и предельные гибкости	65
УIII.	Расчет соединений	74
IX.	Указания по проектированию	78
	Приложение	89

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Проектирование стальных конструкций опор ВЛ и ОРУ должно производиться в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72 "Стальные конструкции. Нормы проектирования", раздела 3 главы СНиП II-И.9-62 "Линии электропередачи напряжением выше 1 кВ. Нормы проектирования" (изменения и дополнения от 10 апреля 1975 г.) и настоящего "Руководства". Настоящий раздел составлен в развитие глав II-В.3-72 и II-И.9-62 СНиП и отражает специфические особенности проектирования опор ВЛ и ОРУ. При пользовании "Руководством" должны учитываться все изменения, вносимые в СНиП, ГОСТы, ОСТы и ТУ после выхода настоящего "Руководства".

3.2. Расчет конструкций по первой группе предельных состояний должен производиться:

на прочность, потерю устойчивости формы и положения и, в необходимых случаях, на усталостную прочность, резонансные колебания и на сдвиг соединений.

Расчет по второй группе предельных состояний производится при определении прогибов конструкций и отдельных элементов.

3.3. Конструкции опор высотой до 100 м рекомендуется проектировать из открытых горячекатанных или холодногнутых профилей. Опоры высотой более 100 м рекомендуется проектировать из трубчатых профилей.

3.4. При проектировании конструкций опор ВЛ и ОРУ следует учитывать рекомендации раздела 6 главы СНиП II-28-73 "Защита строительных конструкций от коррозии".

Способ защиты металлических конструкций от коррозии назначается в зависимости от степени воздействия агрессивных сред.

Как правило, для защиты от коррозии стальных конструкций с болтовыми соединениями (кроме соединений на высокопрочных болтах), а также болтов, гаек и шайб рекомендуется горячее цинкование методом погружения в расплав.

В отдельных случаях допускается применение лакокрасочных покрытий, а для крепежных изделий – гальваническое цинкование. При экономическом обосновании допускается применение атмосферокоррозиеустойчивых сталей.
Для оттяжек из оцинкованных спиральных канатов и прядей из высокопрочной проволоки должно предусматриваться последующее покрытие защитной электротехнической смазкой (ЭЗС).
Технические требования к качеству покрытия, правилам приемки и методам контроля стальных опор ВЛ и конструкций ОРУ подстанций методом горячего цинкования – по ОСТ 34.006-73. Технические требования к качеству покрытия, правилам приемки и методам контроля крепежных изделий стальных опор методом горячего цинкования – по ОСТ 34013-74.

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СОЕДИНЕНИЙ

3.5. В зависимости от механических свойств при растяжении все стали, применяемые для стальных конструкций, подразделяются на условные классы прочности, именуемые "классами стали". Для опор ВЛ и ОРУ могут применяться стали классов прочности: С 38/23, С 44/29, С 46/33 и С 52/40 – см. табл. 3.1.

Примечание: Цифры в индексе класса прочности обозначают: числитель – минимальная величина временного сопротивления на разрыв по ГОСТ (в кгс/мм2), знаменатель – минимальная величина предела текучести по ГОСТ (в кгс/мм2).

Таблица 3.I

Классы стали	Механические свойства при растяжении		
	Временное сопротивление $\sigma_в$ в кгс/см2	Предел текучести $\sigma_т$ в кгс/см2	Относительное удлинение δ_5 в %
	не ниже	не ниже	не ниже
С 38/23	3800	2300	25
С 44/29	4400	2900	2I
С 46/33	4600	3300	2I
С 52/40	5200	4000	I9

3.6. Указания по применению сталей для стальных конструкций опор ВЛ и ОРУ подстанций, соответствующих указанным в п.3.5 классам стали, в зависимости от типа опор и температурных условий их эксплуатации, даны в таблице 3.2 и п.3.8.

При технико-экономическом обосновании разрешается также использование и других марок сталей, указанных в приложении I табл. 50 Главы СНиП II-В.3-72:

а) для специальных переходных опор высотой более 50 м – по группам I и II указанного приложения;

б) для нормальных опор – по группам II и III указанного приложения.

3.7. Для опор ВЛ и ОРУ в качестве основных видов сталей рекомендуются: в районах с расчетной температурой минус 40^0С и выше – углеродистая сталь класса С38/23 марки ВСт3 и низколегированная конструкционная сталь класса С46/33 марки I4Г2; в районах с расчетной температурой ниже минус 40^0С – низколегированные конструкционные стали 09Г2С и I0Г2С1. Низколегированная сталь рекомендуется к применению во всех случаях, когда ее использование приводит к снижению расхода стали без увеличения стоимости.

3.8. Для трубчатых элементов конструкций опор рекомендуется применение:

а) в районах с расчетной температурой минус 40°С и выше – сталь Ст.20 по ГОСТ 1050-74 для сварных конструкций, с ограничением содержания кремния 0,17-0,27%, механическими характеристиками согласно табл. 2 ГОСТ 8731-74 и ударной вязкостью при температуре минус 20°С не менее 3 кгс/см2.

Расчетные характеристики стали 20 следует принимать как для класса стали С38/23.

б) в районах с расчетной температурой ниже минус 40°С для труб рекомендуется применение сталей марок 09Г2С и 10Г2С1 в соответствии с указаниями таблицы 3.2.

3.9. Литые детали рекомендуется проектировать из углеродистой стали марок 35Л или 45Л, удовлетворяющей требованиям групп отливок 2 или 3 (отливки повышенного качества) по ГОСТ 977-75

3.10. Для сварки стальных конструкций следует применять материалы, соответствующие классу свариваемых сталей и обеспечивающие требуемые свойства сварных соединений и надлежащую технологию их выполнения. Перечень рекомендуемых материалов для ручной сварки и указания по их применению приведены в табл. 3.3.

В случае применения механизированной сварки следует руководствоваться указаниями табл. 52 главы СНиП II-В.3-72 "Стальные конструкции. Нормы проектирования".

3.11. Болты грубой, нормальной и повышенной точности из углеродистых и легированных сталей классов и марок по таблице 1 ГОСТ 1759-70^{X} в соединениях, воспринимающих растягивающие или сдвигающие усилия, надлежит применять:

а) в районах с расчетной температурой минус 40°С и выше болты классов 4.6 и 5.6, а также болты класса 6.6 из стали 35, с дополнительными испытаниями по п.п. 1,4 и 7 табл. 10 ГОСТ 1759-70^{X}. Допускается применение болтов классов 4.8 и 5.8, изготовленных из

кипящей и спокойной стали с дополнительными видами испытаний по п.I табл. I0 ГОСТ I759-70^{X}.

б) в районах с расчетной температурой минус 65°С и ниже болты класса 8.8 из стали марок 35Х или 38ХА с дополнительными испытаниями по п.7 табл.I0 ГОСТ I759-70^{X}.

Примечание: При заказе болтов классов 4.8 и 5.8 по ГОСТ I759-70^{X} необходимо указывать, что не допускается применение автоматных сталей, а цинкование должно производиться с обязательным обезводораживанием.

3.I2. В болтовых соединениях, работающих на растяжение, класс прочности гаек по табл. 2 ГОСТ I759-70^{X} должен соответствовать первому числу обозначения класса прочности болтов по табл. I ГОСТ I759-70^{X}.

Например: болту класса прочности 5.8 соответствует гайка класса прочности 5. и т.п.

В соединениях, работающих на сдвигающие усилия, допускается использовать гайки класса прочности 4 для болтов класса прочности 5.6+6.6 и класса прочности 5 для болтов класса прочности 8.8.

3.I3. Болты грубой точности должны применяться по ГОСТ I5589-70^{X} или ГОСТ I5591-70^{X}.

Болты нормальной точности по ГОСТ 7798-70^{X} или ГОСТ 7796-70^{X}.

Болты повышенной точности по ГОСТ 7805-70^{X} или ГОСТ 7809-70^{X}.

Гайки - по ГОСТ 5915-70 и по ГОСТ I552I-70.

Примечания: I. Болты и гайки должны применяться с крупным шагом резьбы;

2. По соглашению с изготовителем рекомендуется применение болтов по ОСТ 34021-73.

3.I4. Шайбы должны применяться:
Плоские шайбы – по ГОСТ II37I-68* из стали марки ВСт.3кп2 по ГОСТ 380-7I*.
Пружинные шайбы – по ГОСТ 6402-70*, тяжелые или нормальные, из стали марки 65Г по ГОСТ I050-74.

Примечание: Цинкование пружинных шайб должно производиться с обязательным обезводораживанием.

3.I5. Анкерные болты и U -образные болты для крепления оттяжек опор должны проектироваться из сталей:
а) в районах с расчетной температурой минус 40°С и выше из стали марки В Ст3сп2 ГОСТ 380-7I* или, при соответствующем обосновании, из стали марок 09Г2С-2 и I0Г2СI-2 по ГОСТ I928I-73;
б) в районах с расчетной температурой от минус 4I°С до минус 65°С из стали марок 09Г2С-6 и I0Г2СI-6 по ГОСТ I928I-73.

3.I6. Гайки для анкерных болтов из стали В Ст3 – класса прочности 4 по табл. 2 ГОСТ I759-70 ; из сталей 09Г2С и I0Г2СI – класса прочности не ниже 5 по табл. 2 ГОСТ I759-70*.

3.I7. Гайки для анкерных болтов диаметром меньше 48 мм – по ГОСТ 5915-70; гайки диаметром больше 48 мм – по ГОСТ I0605-72.

3.I8. Оттяжки опор должны проектироваться:
а) из стальных спиральных канатов (раскручивающихся или нераскручивающихся) по ГОСТ 3063-66, ГОСТ 3064-66 и ГОСТ 3065-66;
б) из прядей с высокопрочной стальной проволокой, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 7372-66*.
Для стальных канатов и прядей должна применяться оцинкованная проволока высшей марки для средних или жестких условий работы, поставляемая в соответствии с техническими условиями ГОСТ 7372-66*.

Примечание. Оцинкованная проволока для жестких условий работы назначается в районах соленых озер, морского побережья, химических предприятий и в других районах с повышенной агрессивной средой.

3.I9. Классы и марки сталей, болтов, типы электродов для сварки, а также дополнительные требования к поставляемой стали должны указываться на рабочих (КМ) и деталировочных (КМД) чертежах стальных конструкций и в документации по заказу.

Таблица 3.2

Расчетная температура °С	Класс стали	Марка стали	Толщина листового, сортового или фасонного проката в мм	ГОСТ или ТУ на поставку	Примечания
I	2	3	4	5	6
Группа I. Сварные специальные переходные опоры высотой более 50м					
$t_{\text{п}}$-40	С 38/23	ВСт3пс6	от 5 до I0	380-7I^{x}	
		ВСт3сп5	от II до 25	380-7I^{x}	
		ВСт3Гпс5	от II до 30	380-7I^{x}	
		09Г2С-I2	от 6I до I60	I9282-73	
	С 44/29	09Г2-I2	от 5 до I0	I928I-73; I9282-73	
		09I2С-I2	от 2I до 60	I928I-73; I9282-73	
	С 46/33	I4Г2-I2	от 5до 32	I928I-73; I9282-73	
		I0Г2СI-I2	от 5 до 40	I928I-73; I9282-73	
		09Г2С-I2	от 5 до 20	I928I-73; I9282-73	
	С 52/40	I4Г2АФ-I2	от 5 до 50	I9282-73;	
		I5Г2АФДпс-I2	от I0 до 32	I9282-73	

Продолжение табл. 3.2

I	2	3	4	5	6
-40>$t_{\text{р}}$-65	С 38/23	09Г2С-I5	от 6I до I60	I9282-73	
	С 44/29	09Г2С-I5	от 2I до 60	I9282-73	
	С 46/33	09Г2С-I5	от 5 до 20	I928I-73; I9282-73	
		I0Г2СI-I5	от 5 до I0	I928I-73; I9282-73	
Группа II. Сварные опоры ВЛ и ошиновки ОРУ высотой до 50м, опоры под выключатели, опоры под оборудование ОРУ 500 кВ и выше					
$t_{\text{р}}$ - 30	С 38/23	ВСт3пс2	3 и 4	380-7I[X]	
		ВСт3пс6	от 5 до 25	380-7I[X]	
		ВСт3Гпс5	от II до 30	380-7I[X]	
		ВСт3сп3	от 26 до 40[XX]	380-7I[X]	Применяется только для опорных плит башмаков. Ударная вязкость при $t = 20^{0}$С.
		09Г2С-I2	от 6I до I60	I9282-73	
	С 44/29	09Г2-2	4	I928I-73; I9282-73	

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6
$t_{\text{в}} \geq -30$	С $44/29$	09Г2-6	от 5 до 10	19281-73; 19282-73	
		09Г2С-6	от 21 до 60	19281-73; 19282-73	
	С 46/33	14Г2-6	от 4 до 32	19281-73; 19282-73	
		10Г2С1-6	от 4 до 40	19281-73; 19282-73	
		09Г2С-6	от 4 до 20	19281-73; 19282-73	
	С 52/40	14Г2АФ-6	от 4 до 50	19282-73	
		15Г2АФДпс-6	от 4 до 32	19282-73	
$30 > t_{\text{в}} \geq -40$	С 38/23	ВСт3пс2	3 и 4	380-71[X]	
		ВСт3пс6	от 5 до 10	380-71[X]	
		ВСт3Гпс5	от 11 до 30	380-71[X]	
		ВСт3оп5	от 11 до 25	380-71[X]	
		ВСт3оп3	от 26 до 40[XX]	380-71[X]	Применяется только для опорных плит балконов. Ударная вязкость при t +20°С.

Продолжение табл.3.2

I	2	3	4	5	6
-30>t≥-40	С 38/23	09Г2С-12	от 61 до 160	19282-73	
	С 44/29	09Г2-2	4	19281-73; 19282-73	
		09Г2-6	от 5 до 10	19281-73; 19282-73	
		09Г2С-6	от 21 до 60	19281-73; 19282-73	
	С 46/33	14Г2-6	от 4 до 32	19281-73; 19282-73	
		10Г2С1-6	от 4 до 40	19281-73; 19282-73	
		09Г2С-6	от 4 до 20	19281-73; 19282-73	
	С 52/40	14Г2АФ-6	от 4 до 50	19282-73	
		15Г2АФДпс-6	от 4 до 32	19282-73	
-40>t≥-50	С 38/23	09Г2С-12	от 61 до 160	19282-73	
	С 44/29	09Г2-2	4	19281-73; 19282-73	
		09Г2-12	от 5 до 10	19281-73; 19282-73	
		09Г2С-12	от 21 до 60	19281-73; 19282-73	

Продолжение табл.3.2

I	2	3	4	5	6
$-40 > t \geq -50$	С 46/33	09Г2С-I2	от 4 до 20	I928I-73; I9282-73	
		I0Г2СI-I2	от 5 до 40	I928I-73; I9282-73	
$-50 > t \geq -65$	С 38/23	09Г2С-I5	от 6I до I60	I9282-73	
	С 44/29	09Г2-I2	от 5 до I0	I928I-73; I9282-73	
		09Г2С-I5	от 2I до 60	I9282-73	
	С 46/33	09Г2С-I2	от 5 до I0	I928I-73; I9282-73	
		09Г2С-I5	от I2 до 20	I9282-73	
		I0Г2СI-I5	от 5 до 60	I928I-73; I9282-73	
Группа Ш. Конструкции, относящиеся к группам I и II при отсутствии сварки (болтовые, клепаные)					
$t \geq -40$	С 38/23	ВСт3пс2	3 и 4	380-7I^{x}	
		ВСт3пс6	от 5 до 25	380-7I^{x}	
		ВСт3Гпс5	от I0 до 30	380-7I^{x}	
		09Г2С-I2	от 6I до I60	I9282-73	
	С 44/29	09Г2-2	4	I928I-73; I9282-73	

Продолжение табл.3.2

I	2	3	4	5	6
$t \geqslant -40$	С 44/29	09Г2-6	от 5 до I0	I928I-73; I9282-73	
		09Г2С-6	от 2I до 60	I928I-73; I9282-73	
	С 46/33	I4Г2-6	от 4 до 32	I928I-73; I9282-73	
		I0Г2СI-6	от 4 до 40	I928I-73; I9282-73	
		09Г2С-6	от 4 до 20	I928I-73; I9282-73	
	С 52/40	I4Г2АФ-6	от 4 до 50	I9282-73	
		I5Г2АФДпс-6	от 4 до 32	I9282-73	
$-40 > t \geqslant -65$	С 38/23	09Г2С-I5	от 6I до I60	I9282-73	
	С 44/29	09Г2-I2	от 5 до 20	I928I-73; I9282-73	
		09Г2С-I2	от 2I до 60	I928I-73; I9282-73	
	С 46/33	I4Г2-I2	от 5 до 32	I928I-73; I9282-73	
		I0Г2СI-I2	от 5 до 32	I928I-73; I9282-73	

Продолжение табл. 3.2

I	2	3	4	5	6
-40 > t ≥ - 65	С 46/33	09Г2С-12	от 5 до 20	19281-73; 19282-73	
Группа IУ. Опоры под оборудование ОРУ до 330 кВ включительно (кроме опор под выключатели), металлоконструкции кабельных каналов, детали путей перекатки трансформаторов, лестницы, трапы, ограждения, ограды и другие слабонагруженные конструкции и элементы с напряжением менее 0,4 расчетного сопротивления – сварные и болтовые					
t ≥ -40	С 38/23	ВСт3кп2 ВСт3пс6	от 4 до 10 от 11 до 25	380-7I[X] 380-7I[X]	
-40 > t ≥ -65	С 38/23	ВСт3сп5 ВСт3Гпс5	от 5 до 25 от 5 до 30	380-7I[X] 380-7I[X]	

xx) В соответствии с Главой СНиП по проектированию стальных конструкций расчетные сопротивления прокатной стали ВСт3 принимаются при толщинах: а) от 31 до 40 мм R = 1900 кгс/ см2; б) от 41 до 160 мм R = 1700 кгс/см2.

Примечания: I. За расчетную температуру принимается средняя температура наружного воздуха наиболее холодной пятидневки согласно указаний главы СНиП по строительной климатологии и геофизике.

2. Сталь всех марок должна удовлетворять требованиям на загиб в хо-

лодном состоянии согласно нормам действующих ГОСТов и технических условий.

3. В графе 5 (ГОСТ или ТУ на поставку) для низколегированных сталей указано: ГОСТ 19281-73 для сортовой и фасонной стали, ГОСТ 19282-73 – для толстолистовой и широкополосной универсальной стали.
4. Стали 14Г2АФ и 15Г2АФДпс применять только для листовых элементов конструкций.
5. При технико-экономическом обосновании допускается использование других марок сталей, указанных в табл. 50 главы СНиП II-В.3-72, в соответствующих диапазонах температур:
   а) для специальных переходных опор высотой более 50 м – по группам I и II;
   б) для нормальных опор – по группам II и III.
6. За толщину, указанную в графе 4, для двутавров и швеллеров условно принимается толщина стенки.
7. При толщине проката менее 5 мм приведенные в таблице марки стали применяются без требования по ударной вязкости.
8. Допускается вместо сталей марок ВСт3Гпс и ВСт3сп применять сталь марки Вl8Гпс соответствующих категорий по ТУ 14-2-173-75.

Таблица 3.3

Наименование конструкций (по табл.3.2)	Класс стали	Расчетная температура в °С	Температура при сварке в °С	Сварочные материалы: типы электродов (по ГОСТ 9467-60)	Сварочные материалы: марки электродов	Примечания
I	2	3	4	5	6	7
I,II	С 38/23	$t \geq -40$	$t \geq 0$ x)	342А 346А	Все марки данного типа	
	С 44/29 С 46/33			346А 350А	То же	
	С 52/40			360А	То же	
	С 38/23 С 44/29 С 46/33 С 52/40	$-40 > t \geq -65$	$t \geq -50$	342А 350А	УОНИ I3/55 УОНИ I3/45 СМ-II УП-2/55	Для стыковых соединений применять только электроды УОНИ I3/55; электроды СМ-II и УП 2/55 применять только для сварки $t > 0$

Продолжение табл. 3.3.

I	2	3	4	5	6	7
IV	С 38/23	$t \geq -40$	$t \geq 0$ x)	Э42 Э46	Все марки данного типа	
	С 38/23	$-40 > t \geq -65$	$t > 0$	Э42А	УОНИ I3/55 УОНИ I3/45 СМ-II УП-2/55	Для стыковых соединений применять только электроды УОНИ I3/55
	С 38/23	$-40 > t \geq -65$	$0 \geq t \geq -35$	Э42А	УОНИ I3/55 УОНИ I3/45 СМ-II	
			$-35 \geq t \geq -50$	Э42А	УОНИ I3/55 УОНИ I3/45 СМ-II	

x) Выбор материалов для сварки при $t > 0$ производится в соответствии с главой СНиП по изготовлению и монтажу металлических конструкций.

Примечание. Для расчетных угловых швов, если их толщина превышает минимальную толщину h_w по таблице 3.24, допускается применять сварочные материалы, предназначенные для сталей более высокого класса в сравнении со сталью данной конструкции. При этом расчетные сопротивления сварных соединений должны приниматься с учетом указаний п.3.20.

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ И СОЕДИНЕНИЙ

Расчетные сопротивления

3.20. Расчетные сопротивления прокатной стали, отливок, а также сварных и болтовых соединений приведены в таблицах 3.4 ÷ 3.7.

Примечания: I. В необходимых случаях приведенные в табл. 3.4 ÷ 3.7 значения расчетных сопротивлений понижаются умножением на коэффициенты условий работы "m" элементов стальных конструкций по табл. 3.8.

2. Для болтовых соединений значения расчетных сопротивлений растяжению и срезу принимаются по классу или марке стали болтов, значения расчетных сопротивлений смятию – по классу стали соединяемых элементов конструкций.

3.21. Расчетные сопротивления материала U -образных анкерных тяг из круглого проката для крепления оттяжек принимаются равными расчетным сопротивлениям анкерных болтов, увеличенным на 20%.

3.22. Расчетное сопротивление (усилие) стального каната при растяжении принимается равным разрывному усилию каната в целом, установленному ГОСТами или заводскими сертификатами, деленному на коэффициент безопасности по материалу, равному К=I,6. В необходимых случаях значения расчетных сопротивлений понижаются умножением на коэффициенты условий работы "m" по табл. 3.8.

3.23. За расчетное сопротивление при растяжении высокопрочной стальной проволоки, применяемой в виде пучков или прядей, принимается значение временного сопротивления разрыву проволоки, установленное соответствующими ГОСТами,

деленное на коэффициент безопасности по материалу К=I,6. В необходимых случаях значения расчетных сопротивлений понижаются умножением на коэффициенты условий работы "m" по табл. 3.8.

Таблица 3.4

Вид напряженного состояния	Условное обозначение	Расчетные сопротивления в кгс/см2 прокатной стали классов			
		С38/23	С44/29	С46/33	С52/40
Растяжение, сжатие и изгиб	R	2100 (2600)	2600 (3000)	2900 (3100)	3400
Срез	$R_{ср}$	1300	1500	1700	2000
Смятие торцевой поверхности (при наличии пригонки)	$R_{см.т}$	3200	3900	4300	5100
Смятие местное в цилиндрических шарнирах (цапфах) при плотном касании	$R_{см.м}$	1600	2000	2200	2500
Диаметральное сжатие катков при свободном касании (в конструкциях с ограниченной подвижностью)	$R_{с.к}$	80	100	110	130

Примечания:

1. Указанные в табл.3.4 значения расчетных сопротивлений установлены для прокатной стали при толщинах не превышающих величин, приведенных в табл. 3.2.
2. При толщине прокатной стали, превышающей величины, приведенные в табл.3.2, а также для марок сталей, не указанных в этой таблице, значения расчетных сопротивлений определяются в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72.
3. Расчетные сопротивления прокатной углеродистой стали класса С38/23 (кроме марки 09Г2С) принимаются для толщин:

а) от 31 до 40 мм R =1900 кгс/см2;
б) от 41 до 160 мм R =1700 кгс/см2.

4. В скобках указаны расчетные сопротивления стали растяжению для конструкций, эксплуатация которых возможна и после достижения металлом предела текучести.

Таблица 3.5.

Вид напряженного состояния	Условное обозначение	Расчетные сопротивления в кгс/см2 отливок из углеродистой стали марок	
		35Л	45Л
Растяжение, сжатие и изгиб	R	2100	2500
Срез	$R_{ср}$	1300	1500
Смятие торцовой поверхности (при наличии пригонки)	$R_{см\,т}$	3200	3700
Смятие местное в цилиндрических шарнирах (цапфах) при плотном касании	$R_{см\,м}$	1600	1800
Диаметральное сжатие катков при свободном касании (в конструкциях с ограниченной подвижностью)	$R_{с\,к}$	80	100

Таблица 3.6.

Вид сварных соединений	Вид напряженного состояния	Условное обозначение	Расчетные сопротивления в кгс/см2 сварных соединений в конструкциях из стали классов			
			С38/23	С44/29	С46/33	С52/40
1	2	3	4	5	6	7
Соединение встык	Сжатие	$R_c^{св}$	2100	2600	2900	3400
	Растяжение: а) автоматическая сварка; полуавтоматическая и ручная сварка с физическим контролем качества швов	$R_p^{св}$	2100	2600	2900	3400

Продолжение табл.3.6.

I	2	3	4	5	6	7
То же	б) полуавтоматическая и ручная сварка	$R^{св}_{р}$	I800	2200	2500	-
То же	Срез	$R^{св}_{ср}$	I300	I500	I700	2000
Угловые швы	Срез	$R^{св}_{у}$	I500	I800	2000	2200

Примечания:

I. Сварные соединения всех видов должны подвергаться визуальному контролю качества швов (наружный осмотр, измерение швов), а физический контроль качества швов (рентгено- и гаммаграфирование, ультразвуковая дефектоскопия магнитографический способ) является дополнением к визуальному.

2. Для элементов из стали разных классов расчетное сопротивление сварного соединения встык принимается равным расчетному сопротивлению соединения встык из менее прочной стали.

3. Расчетные сопротивления сварных соединений встык установлены для швов, выполненных двухсторонней сваркой или односторонней с подваркой корня шва.

4. При применении в соединяемых элементах конструкций проката более толстого, чем указано в табл.3.2, расчетное сопротивление сварных соединений устанавливается в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72.

5. Расчетные сопротивления сварных соединений, выполняемых на монтаже, принимаются на 20% ниже указанных в таблице.

Болты	Соединения	Напряженное состояние и группа соединения	Условное обозначение	Расчетные сопротивления в кгс/см²												
				растяжению и срезу болтов									смятию соединяемых элементов конструкций из стали класса			
				класса прочности						из стали марки						
				4,6	4,8	5,8	5,6	6,6	8,8	В Ст.3сп2	09Г2С-2 09Г2С-6	10Г2С1-2 10Г2С1-6	С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40
Повышенной точности	Одноболтовые и многоболтовые	Растяжение	$R_p^б$	1700	1600	1900	2100	2400	4000	-	-	-	-	-	-	-
		Срез В	$R_{cp}^б$	1500	1600	1800	1700	2000	3000	-	-	-	-	-	-	-
		Смятие В	$R_{cм}^б$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3800	4700	5200	6100
Нормальной и грубой точности	Одноболтовые	Растяжение	$R_p^б$	1700	1600	1900	2100	2400	4000	-	-	-	-	-	-	-
		Срез	$R_{cp}^б$	1500	1600	1800	1700	2000	3000	-	-	-	-	-	-	-
		Смятие	$R_{cм}^б$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3800	4700	5200	6100
	Многоболтовые	Растяжение	$R_p^б$	1700	1600	1900	2100	2400	4000	-	-	-	-	-	-	-
		Срез	$R_{cp}^б$	1300	1400	1600	1500	1700	2500	-	-	-	-	-	-	-
		Смятие	$R_{cм}^б$	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3400	4200	4600	5200
Анкерные болты		Растяжение	$R_p^а$	-	-	-	-	-	-	1400	1700	1900	-	-	-	-

Примечания: 1. К группе В относятся соединения, в которых болты поставлены в отверстия:

а) сверленые на проектный диаметр в собранных элементах;
б) сверленые на проектный диаметр в отдельных элементах и деталях по кондукторам;
в) сверленые или продавленные на меньший диаметр в отдельных деталях с последующим рассверливанием до проектного диаметра в собранных элементах.

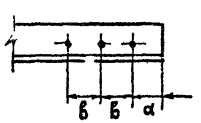


Рис.3.1.

2. Расчетные сопротивления смятию приведены для условий:

а) для соединяемых элементов из сталей классов С38/23; С44/29; С46/33 – когда величина обреза "а" (расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия) равна $2d$, расстояние между центрами отверстий "б" равно $2,5d$;

б) для соединяемых элементов из стали класса С52/40 – когда величина обреза "а" = $2d$, а расстояние между центрами отверстий "б" равно $3d$.

3. В соединяемых элементах из сталей классов С38/23; С44/29, С46/33 допускается уменьшение расстояний между центрами отверстий и от края элемента до центра ближайшего отверстия; при этом расчетные сопротивления должны быть снижены:

а) в одноболтовых соединениях

при $a = 1,5d$ на 15%;
при $a = 1,25d$ на 30%;

б) в многоболтовых соединениях при $a = 1,5d$ и $б = 2d$ на 15%.

4. При применении в соединяемых элементах конструкций проката более толстого, чем указано в табл. 3.2, расчетные сопротивления смятию устанавливаются в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72.

Таблица 3.8

Наименование элементов конструкций	m_c
I	2
I. Растянутые элементы поясов и решетки с проколотыми дырами	0,9
2. Сжатые пояса из одиночных уголков в первых двух панелях от опорного башмака	
а) для болтовых опор	0,9
б) для сварных опор	0,95
3. Сжатые раскосы пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков, прикрепляемых к поясам одной полкой при помощи сварки или болтов, при условии постановки в узле не менее двух болтов по длине раскоса:	
а) треугольная и перекрестная решетка с несовмещенными в смежных гранях узлами по рис. 3.2а, 3.2б, раскосы P_1 и P_2 по рис. 3.2л и 3.2м и раскос P_4 по рис. 3.2 г.	0,8
б) перекрестная решетка с совмещенными в смежных гранях узлами по рис. 3.2д, 3.2з, 3.2и, 3.2к, и распорка по рис. 3.2ж	0,9
в) раскосы по рис. 3.2ж и раскос P_5 по рис. 3.2г	0,85
г) треугольная решетка с распорками по рис. 3.2е, раскос P_3 по рис, 3.2л и раскос P_6 по рис. 3.2м	I,0
4. Сжатые раскосы пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков, прикрепляемых к поясу одним болтом, независимо от схемы решетки, кроме сложной перекрестной решетки по рис. 3.2в	0,75
5. Сжатые раскосы сложной перекрестной решетки по рис. 3.2в	0,7
6. Сжатые элементы плоских решетчатых конструкций из одиночных уголков (применительно к траверзам опор), прикрепляемых одной полкой при помощи сварки или болтов, при условии постановки в узле не менее двух болтов по длине элемента:	
а) пояс траверзы при креплении к стволу опоры через фасонку - по рис. 3.3а	0,75

Продолжение табл.3.8

I	2
б) пояс траверзы при креплении к стволу опоры непосредственно по рис. 3.3б	0,9
в) раскосы при треугольной решетке по рис. 3.4б	0,7
г) раскосы при треугольной решетке с распорками по рис. 3.4а	0,8
7. Сжатые раскосы из одиночных уголков плоских решетчатых траверз с поясами из швеллеров, прикрепляемые одной полкой по оси швеллера при помощи сварки или болтов, при условии постановки в узле не менее двух болтов по длине элемента:	
а) при треугольной решетке по рис. 3.4г	0,7
б) при треугольной решетке с распорками по рис. 3.4в	0,8
8. Сжатые элементы траверз при условии прикрепления одним болтом:	
а) пояс траверзы по рис. 3.3а, 3.3б	0,75
б) раскосы при треугольной решетке по рис. 3.4б, 3.4г	0,7
в) раскосы при треугольной решетке с распорками по рис. 3.4а, 3.4в	0,75
9. Сжатые составные элементы решетки таврового сечения из равнобоких уголков:	
а) прикрепляемые одной полкой тавра в пространственных решетчатых конструкциях	0,75
б) прикрепляемые полками уголков, образующих стенку тавра	I,0
I0. Оттяжки из стальных канатов и пучков высокопрочной проволоки:	
а) для промежуточных опор	
в нормальных режимах	0,9
в аварийных режимах	I,0
б) для анкерных, анкерно-угловых и угловых опор:	
в нормальных режимах	0,8
в аварийных режимах	0,9

Примечания: I. Указанные в таблице 3.8 коэффициенты условий работы эле-

ментов не распространяются на работу соединений этих элементов в узлах.

2. Коэффициенты условий работы по пп.2.8 установлены для равнобоких прокатных уголков.

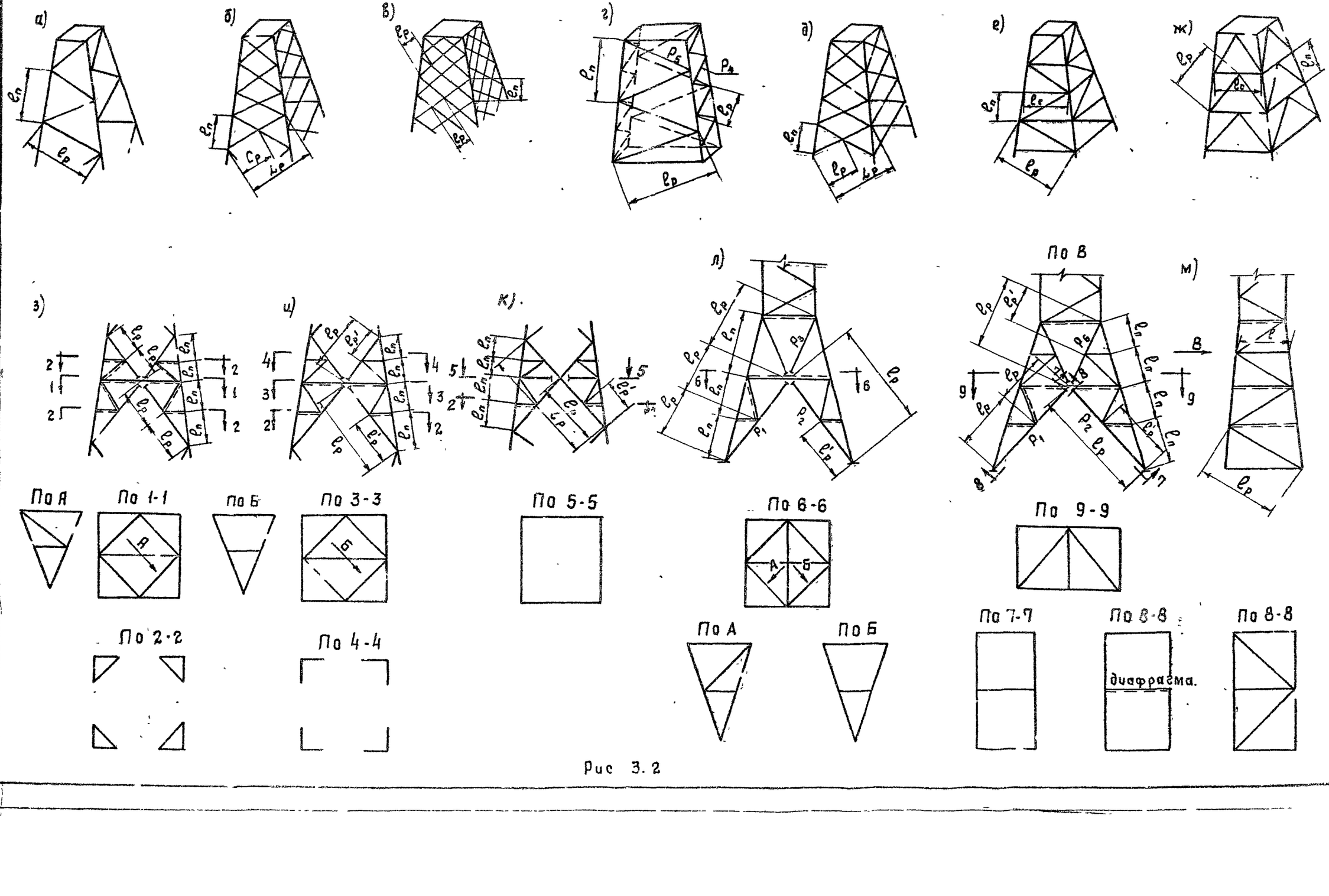

а)
б)
в)
г)
д)
е)
ж)
з)
и)
к)
л)
По В
м)
По А
По 1-1
По Б
По 3-3
По 5-5
По 6-6
По 9-9
По 2-2
По 4-4
По А
По Б
По 7-7
По 8-8
По 8-8
диафрагма.

Рис 3.2

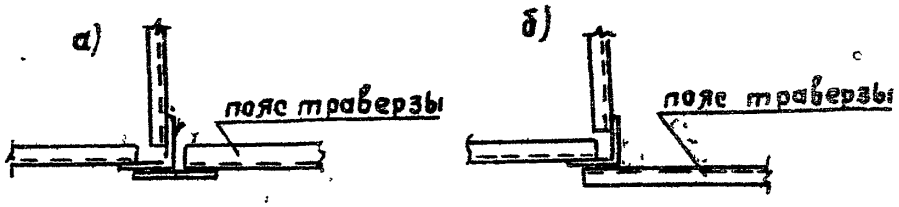

а)
пояс траверзы
б)
пояс траверзы

Рис. 3.3

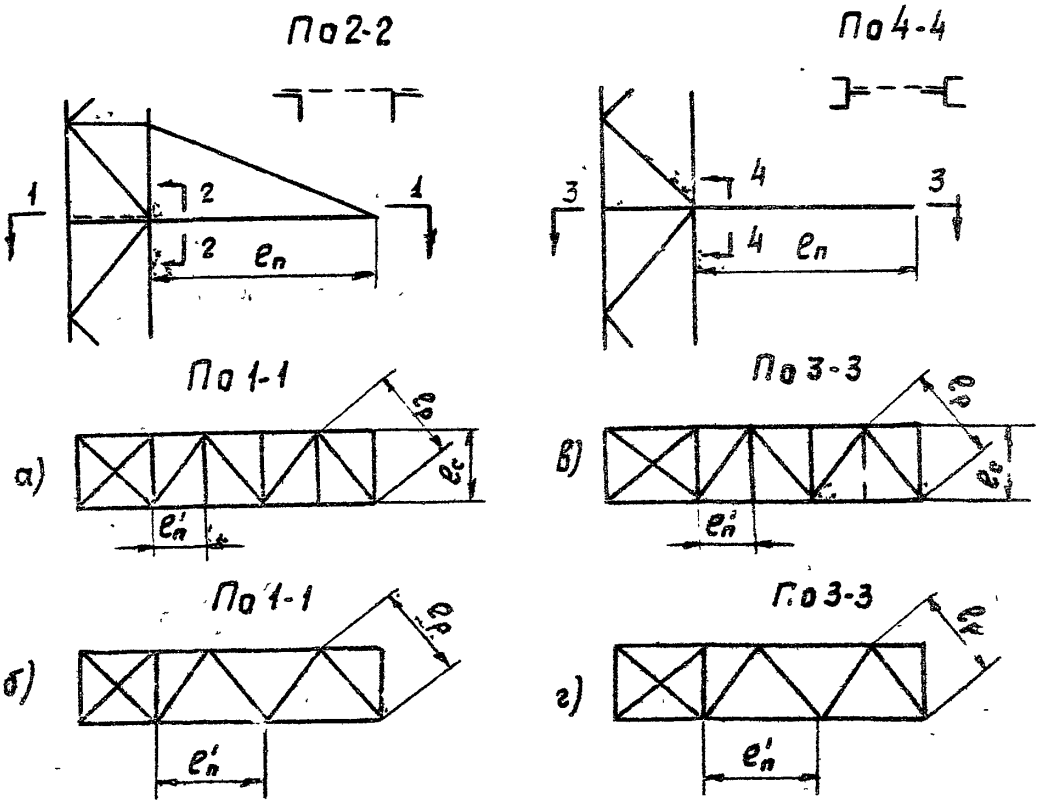

По 2-2
1
2
1
2
e_n
По 4-4
3
4
3
4
e_n
По 1-1
а)
e_p
e_c
e'_n
По 3-3
в)
e_p
e_c
e'_n
По 1-1
б)
e_p
e'_n
По 3-3
г)
e_p
e'_n

Рис. 3.4.

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

3.24. Модули упругости для материалов стальных конструкций надлежит принимать по таблице 3.9

Таблица 3.9

Наименование материала	Модуль упругости E кгс/см2	Модуль сдвига G кгс/см2
Прокатная сталь и отливки из углеродистой стали	2100000	810000
Пучки и пряди высокопрочной проволоки (с параллельным расположением проволок)	2000000	-
Канаты стальные спиральные и канаты (тросы) с металлическим сердечником	1500000	-

Примечание. Величины модуля упругости даны для канатов, предварительно вытянутых усилием не менее 30-40% от разрывного усилия для каната в целом.

Коэффициент поперечной деформации (Пуассона) принимается равным 0,3.

Коэффициент линейного расширения (в град.$^{-1}$) принимается равным 0,000012.

Объемный вес стали и стальных отливок принимается равным 7850 кгс/м^3.

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ

3.25. Выбор оптимальной схемы конструкций опоры должен производиться путем экономического анализа сооружения в целом, т.е. в комплексе с фундаментами и основанием. Расчет опор должен производиться с учетом пространственной работы конструкций и взаимодействия конструкций, фундаментов и основания.

Усилия в элементах конструкций определяются методами статики сооружений с учетом указаний настоящего раздела. Выбор оптимальной схемы конструкций и определение усилий в элементах опор рекомендуется производить с помощью ЭВМ.

3.26. Для учета неравномерности работы стоек свободностоящих портальных опор следует горизонтальные нагрузки, приходящиеся с траверсы на стойку, определенные из условия равномерного распределения между стойками, увеличить на 5%.

3.27. При проектировании пространственных свободностоящих анкерных, угловых и концевых опор с перекрестной решеткой, устанавливаемых на раздельные малообъемные сборные железобетонные фундаменты с вертикальными стойками (грибовидные, свайные и др.), рекомендуется в уровне верха фундаментов устанавливать распорки или диафрагмы для исключения появления дополнительных усилий, вызываемых взаимными горизонтальными перемещениями верха фундаментов.

При отсутствии распорок в уровне верха фундаментов усилия в элементах опор следует определять с учетом дополнительных усилий, вызываемых горизонтальными перемещениями фундаментов.

В опорах с треугольной, раскосной и полураскосной решетками установка распорок в уровне верха раздельных малообъемных фундаментов обязательна для всех типов опор.

3.28. Определение усилий в поясах и раскосах сжато-изогнутых решетчатых стоек опор с оттяжками должно производиться с учетом дополнительных усилий от действия продольной силы на прогибах в соответствии с п.3.50÷3.54.

РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ

3.29. Стальные пространственные решетчатые конструкции опор ВЛ и ОРУ подлежат проверке по прочности, по устойчивости в целом, устойчивости и прочности отдельных частей и элементов.

В необходимых случаях производится также расчет по деформации.

Центрально-растянутые и центрально-сжатые элементы

3.30. Прочность элементов, подверженных центральному растяжению или сжатию силой N, проверяется по формуле:

$$\frac{N}{F_н} < R \qquad (3.1)$$

где R – расчетное сопротивление стали растяжению или сжатию, принимаемое по табл. 3.4. с учетом п.1 примечаний к п.3.20.

$F_н$ – площадь сечения элементов нетто.

3.31. Устойчивость центрально-сжатых элементов проверяется по формуле:

$$\frac{N}{\varphi F} \leq R \qquad (3.2)$$

где R – то же, что в п.3.30

φ – коэффициент продольного изгиба в функции наибольшей гибкости $\lambda = \frac{l_0}{r}$ и класса прочности стали, принимаемый по таблице I Приложения;

F – площадь сечения элемента брутто;

l_0 – расчетная длина элемента;

r – радиус инерции сечения.

3.32. Сжатые раскосы и распорки из одиночных уголков рассчитываются по п.3.31. При определении гибкости стержней расчетные длины и радиусы инерции принимаются в соответствии с указаниями п.3.5г.

Пример № 1. Проверить устойчивость раскоса из одиночного уголка, прикрепленного одним болтом одной полкой на расчетную силу N_p=2,2тс;

λ=150; материал – Ст3; φ=0,305, F=4,8 см2.

В соответствии с п.1 примечаний к п.3.20 расчетное сопротивление для данного случая с учетом коэффициента условий работ m=0,75 (п.4 табл.3.8) по табл. 3.4

R=2100x0,75=1580 кгс/см2.

По формуле (3.2) $\sigma = \frac{2200}{0{,}305 \times 4{,}8} = 1510 < 1580$ кгс/см2

т.е. раскос удовлетворяет условиям устойчивости.

3.33. Пояса из одиночных уголков рассчитываются на центральное сжатие по п.3.31 при условии центрирования раскосов на центр тяжести поясного уголка.

При центрировании раскосов на обушок или болтовую риску пояса расчет может производиться по тем же формулам при условии учета влияния эксцентриситета в узле путем увеличения действующей нормальной силы в поясе умножением на коэффициент α, принимаемый по табл. 3.10.

Примечания: 1. Влияние эксцентриситета может не учитываться при:

а) расчете конструкций в аварийном режиме работы на совместное действие продольной силы, поперечной силы и крутящего момента;

б) расчетов конструкций в нормальном режиме работы (без учета кручения), когда величина усилий в элементах решетки не превышает 15% максимального усилия в поясе от той же нагрузки в месте крепления раскоса.

2. Пояса стоек, для которых отношение усилия в раскосе к усилию в поясе больше 50%, рассчитываются как внецентренно-сжатые элементы в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72.

Таблица 3.10

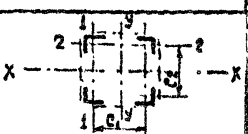
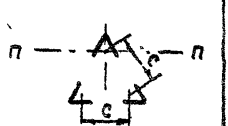
Расстояние от обушка до болтовой риски	Значение коэффициента α при отношении усилия в раскосе к усилию в поясе в %			
	до 15	30	40	≤ 50
$2\ z_0$	1	1,02	1,04	1,07
$2{,}2\ z_0$	1	1,04	1,07	1,12
$2{,}4\ z_0$	1	1,05	1,10	1,17

Примечание. При центрировании элементов решетки на обушок поясного уголка значения α принимаются по первой строке ($2\ z_0$)

z_0 - расстояние по полке уголка от обушка до центра тяжести.

3.34 Для составных центрально-сжатых стержней с поясами из равнобоких уголков, ветви которых соединены планками или решетками, коэффициент продольного изгиба φ относительно оси (перпендикулярной плоскости планок или решеток) должен определяться по приведенной гибкости $\lambda_{пр}$, вычисляемой по формулам таблицы 3.11.

Таблица 3.11

Тип сечения стержня	Соединительные элементы	Значение приведенной гибкости $\lambda_{пр}$
	планки	$\sqrt{\lambda^2+2\lambda_в^2(0,7+K_в)}$ (3.3)
	решетки	$\sqrt{\lambda^2+F\left(\frac{K_1}{F_{p_1}}+\frac{K_2}{F_{p_2}}\right)}$ (3.4)
	планки	$\sqrt{\lambda^2+\lambda_в^2(1+3,3K_в)}$ (3.5)
	решетки	$\sqrt{\lambda^2+F\frac{K_1}{F_p}}$ (3.6)

Обозначения, принятые в таблице:

λ – наибольшая гибкость всего стержня, определенная в соответствии с п.3.35

F – площадь сечения всего стержня (суммарная площадь сечения поясов);

F_{p_1} и F_{p_2} – площади сечения раскосов решеток, лежащих в плоскостях, соответственно перпендикулярных осям 1-1 и 2-2 (для четырехгранного стержня);

F_p – площадь сечения раскосов, лежащих в одной из плоскостей (для трехгранного равностороннего стержня);

K_1 и K_2 – коэффициенты, принимаемые в зависимости от величины углов α_1 и α_2 между раскосом решетки и ветвью (рис. 3.5).

Продолжение табл. 3.II

$\alpha_1 (\alpha_2)$	30^0	40^0	$45^0 \div 60^0$
K_I (K_2)	45	31	27

$\lambda_в$ – минимальная гибкость ветви, принимаемая относительно оси h-h на участке между планками (в свету) или между центрами крайних болтов (для трехгранного равностороннего стержня);

$\lambda_в$ – минимальная гибкость отдельных ветвей, взятая относительно осей I-I и 2-2, на участках между планками (в свету) или между центрами крайних болтов (для четырехгранного стержня);

$K_з$ – отношение погонной жесткости пояса на длине панели к погонной жесткости планок

$$K_з = \frac{J_в \cdot c}{J_{пл} \cdot \ell}$$

где c – расстояние между центрами тяжести ветвей;

ℓ – расстояние между центрами планок;

$J_{пл.}$ – момент инерции планок относительно оси X – X, перпендикулярной плоскости грани (рис. 3.6.);

$J_в$ – момент инерции ветви, принимаемый для четырехгранной системы относительно оси, параллельной грани I-I или 2-2; для трехгранной – относительно оси h-h

Примечания: I. Формулы 3.3. и 3.5 учитывают влияние жесткости планок.

2. Гибкость отдельных ветвей $\lambda_в$ на участке между планками должна быть не более 40. В составных стержнях с решетками гибкость отдельных ветвей на участках между узлами не должна превышать приведенную гибкость $\lambda_{пр}$ стержня в целом. Помимо проверки устойчивости стержня в целом следует обеспечивать устойчивость отдельных ветвей на участках между узлами.

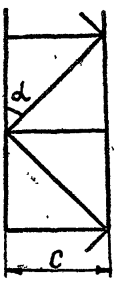


Рис. 3.5

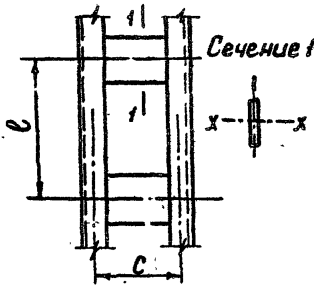


Рис. 3.6

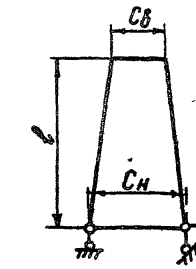


Рис. 3.7

3.35. Гибкость всего стержня λ, входящая в формулы таблицы 3.11, вычисляется в зависимости от конфигурации сквозного составного стержня по формулам:

для четырехгранного стержня с параллельными поясами, шарнирно опертого по концам

$$\lambda = \frac{2\ell}{c} \qquad (3.7)$$

для трехгранного равностороннего стержня с параллельными поясами, шарнирно опертого по концам

$$\lambda = \frac{2.5\,\ell}{c} \qquad (3.8)$$

Для свободностоящей опоры пирамидальной формы и опоры в форме обелиска

$$\lambda = \frac{2\mu_1\ell}{c_н} \qquad (3.9)$$

где ℓ – геометрическая длина составного стержня;

c – ширина наиболее узкой грани стержня с параллельными поясами;

$c_н$ – ширина наиболее узкой грани пирамидальной опоры в основании;

μ_1 – коэффициент, принимаемый по таблице 3.12 в зависимости от соотношения ширины грани в верхнем и нижнем сечениях (рис. 3.7).

Таблица 3.12

$c_в/c_н$	I	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
μ_1	2	2,08	2,15	2,2	2,3	2,42	2,56	2,73	3,0

3.36. Составные элементы из уголков, швеллеров и т.п., соединенных вплотную или через прокладки, рассчитываются как сплошностенчатые при условии, что наибольшие расстояния между их соединениями (прокладками, шайбами и т.п.) не превышают: для сжатых элементов – 40i

для растянутых элементов – 80i,

где i – радиус инерции уголка или швеллера относительно оси, параллельной плоскости расположения прокладок.

При этом в пределах длины сжатого элемента между узлами следует ставить не менее двух прокладок.

3.37. Соединительные элементы (планки или решетки) центрально-сжатых составных стержней, должны рассчитываться на условную поперечную силу Q усл., принимаемую постоянной по всей длине. Значение условной поперечной силы определяется по таблице 3.13.

Таблица 3.13

Конструкции из стали классов	Условные поперечные силы Q усл. в кгс
С 38/23	20 F
С 44/29	30 F
С 46/33, С 52/40	40 F

где F – площадь брутто всего сечения стержня в см^2.

3.38. Соединительные планки (рис. 3.6) центрально-сжатых составных стержней, приведенных в табл. 3.II, должны рассчитываться как элементы безраскосных ферм на:
а) силу, срезывающую планку, по формуле:

$$T = \frac{Q_n \cdot \ell}{c} \qquad (3.10)$$

б) момент, изгибающий планку в ее плоскости, по формуле:

$$M = \frac{Q_n \cdot \ell}{2} \quad \text{(для четырехгранных стержней)} \qquad (3.11)$$

$$M = 0.6\, Q_n \cdot \ell \quad \text{(для трехгранных стержней)} \qquad (3.12)$$

В формулах (3.10 ÷ 3.12):

Q_n – поперечная сила, действующая в плоскости одной грани, равная:
для четырехгранных стержней
$Q_n = 0{,}5\, Q_{усл.}$
для трехгранных стержней
$Q_n = \frac{2}{3} Q_{усл.}$

ℓ – расстояние между центрами планок;

c – расстояние между осями ветвей;

$Q_{усл.}$ – условная поперечная сила по п.3.37.

3.39. Соединительные решетки центрально-сжатых составных стержней должны рассчитываться как решетки ферм на поперечную силу Q_n, действующую в грани.
При расчете перекрестных раскосов крестовой решетки с распорками следует учитывать дополнительные усилия, возникающие в них от обжатия поясов.

3.40. Стержни, предназначенные для уменьшения расчетной длины сжатых элементов, должны рассчитываться на усилие, равное условной поперечной силе в поддерживаемом стержне. ($Q_{усл.}$ в зависимости от площади поддерживаемого стержня принимается по табл. 3.13).

Элементы, подверженные действию осевой силы с изгибом

3.41. Внецентренно сжатые (сжато-изогнутые) элементы должны проверяться на устойчивость как в плоскости действия момента, так и из плоскости действия момента.

3.42. Прочность и устойчивость сплошностенчатых внецентренно сжатых (сжато-изогнутых), а так же прочность внецентренно растянутых (растянуто-изогнутых) элементов проверяется в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72. Устойчивость элементов из одиночных уголков со стыком проверяется по п.3.58.

3.43. Устойчивость внецентренно сжатых составных стержней постоянного сечения с решетками или планками, расположенными в плоскостях, параллельных плоскости изгиба, совпадающей с плоскостью симметрии, а также трехгранных составных стержней постоянного сечения в плоскости изгиба, совпадающей с плоскостью симметрии, проверяется по формуле:

$$\frac{N}{\varphi^{вн} \cdot F} \leq R \qquad (3.13)$$

где

N – продольная сила, приложенная с эксцентриситетом $e = K_c \frac{M}{N}$

F – площадь сечения всего стержня брутто;

$\varphi^{вн}$ – коэффициент, определяемый в функции условной приведенной гибкости $\bar{\lambda}_{пр} = \lambda_{пр}\sqrt{R/E}$ и относительного эксцентриситета m по табл.61 Приложения 6 СНиП II-В.3-72;

M – расчетные значения изгибающего момента в плоскости изгиба, определяемого с учетом п.3.44;

K_c – коэффициент, учитывающий податливость соединений элементов составного стержня, принимаемый:

при болтовых соединениях $K_c = 1,2$

при сварных соединениях $K_c = 1,0$

Приведенная гибкость $\lambda_{пр}$ определяется по формулам таблицы 3.II.

Относительный эксцентриситет определяется по формуле:

$$m_x = e_x \frac{f \cdot y_1}{J_x} \quad \text{или} \quad m_y = e_y \frac{f \cdot x_1}{J_y} \qquad (3.14)$$

где x_1 и y_1 – расстояния от оси у – у или х – х до оси наиболее сжатой ветви (пояса), но не менее расстояния до оси стенки ветви;

f – площадь поперечного сечения всего стержня (брутто);

J_x и J_y – моменты инерции сечения стержня относительно осей соответственно х – х и у – у.

Значение J определяется по формуле $J = f \frac{c}{\lambda^2_{пр}}$

$\lambda_{пр}$ – приведенная гибкость, определяемая по формулам табл. 3.II

3.44. Расчетные значения изгибающих моментов, необходимые для вычисления эксцентриситета $e = K_e \frac{M}{N}$, принимаются равными:

а) для решетчатых стоек опор рамного типа с постоянным моментом инерции стоек относительно оси, перпендикулярной плоскости изгиба – наибольшему моменту в пределах длины стойки;

б) для решетчатых стержней с шарнирно опертыми концами (стоек опор с оттяжками) при совпадении плоскости симметрии с плоскостью изгиба-моменту, определяемому по формулам табл. 3.14;

в) для решетчатых стоек консольного типа – моменту в заделке.

Таблица 3.14

Относительный эксцентриситет m	Значение M при гибкости	
	$\bar{\lambda}_{пр} < 4$	$\bar{\lambda}_{пр} \geq 4$
$m \leq 3$	$M = M_2 = M_{макс} - \frac{\bar{\lambda}}{4}(M_{макс} - M_1)$	$M = M_1$
$3 < m \leq 20$	$M = M_2 + \frac{m-3}{17}(M_{макс} - M_2)$	$M = M_1 + \frac{m-3}{17}(M_{макс} - M_1)$

Обозначения, принятые в таблице:

m – относительный эксцентриситет, определяемый по формулам: $m_x = \frac{M_{макс} F}{N \cdot \vartheta_x} y_1$; $m_y = \frac{M_{макс} \cdot F}{N \cdot \vartheta_y} x_1$;

$M_{макс}$ – наибольший изгибающий момент в пределах длины стержня;

M_1 – наибольший изгибающий момент в пределах средней трети длины стержня, но не менее $0,5 M_{макс}$;

M_2 – расчетный момент при $m < 3$ $\bar{\lambda} < 4$;

$\bar{\lambda}_{пр} = \lambda_{пр} \sqrt{\frac{R}{E}}$ – условная приведенная гибкость;

F – площадь сечения всего стержня брутто;

$N, \vartheta_x, \vartheta_y, x_1, y_1$ и $\lambda_{пр}$ – по пункту 3.43;

Примечание. Во всех случаях принимается $M \geq 0,5 M_{макс}$.

3.45. Устойчивость внецентренно-сжатых составных стержней постоянного замкнутого сечения из плоскости действия момента при изгибе в плоскости наибольшей жесткости ($\vartheta_x > \vartheta_y$), совпадающей с плоскостью симметрии, проверяется по формуле:

$$\frac{N}{c \varphi_y \cdot F} \leq R. \qquad (3.15)$$

где C – коэффициент, вычисленный по указаниям п.3.46;

φ_y – коэффициент продольного изгиба центрально-сжатых элементов, принимаемый по таблице I приложения.

3.46. Коэффициент C в формуле (3.I5) определяется по формуле:

$$C = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x} \qquad (3.I6)$$

где

α и β – коэффициенты, принимаемые по таблице 3.I5;

m_x – относительный эксцентриситет в плоскости действия момента;

при $\lambda_y > \lambda_c$ коэффициент "C" принимается не более единицы;

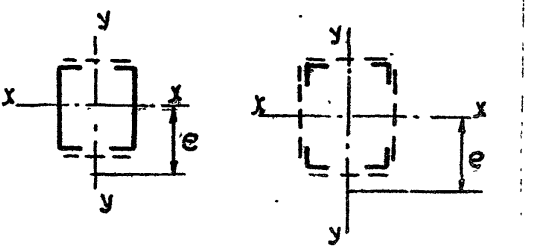
λ_c – наименьшее значение гибкости стержня, при котором центрально-сжатый стержень теряет устойчивость в упругой стадии, принимаемое по таблице 3.I6.

При определении m_x за расчетный момент M_x принимается:

а) для стержней с концами, закрепленными от смещения перпендикулярно плоскости действия момента – максимальный момент в пределах средней трети длины (но не менее половины наибольшего по длине стержня момента);

б) для консолей – момент заделки.

Таблица 3.15

Относительный эксцентриситет		Замкнутые сечения сплошные или с решетками (планками)
		
α	$m \le 1$	0,6
	$1 \le m \le 5$	0,6 + 0,05 (m –1)
	$m > 5$	0,8
β		1,0

Примечание. Пользование коэффициентами, установленными для стержней замкнутого сечения, допускается только при наличии не менее двух промежуточных диафрагм по длине стержня. В противном случае следует пользоваться коэффициентами, установленными для стержней открытого двутаврового сечения в соответствии с табл. 13 СНиП II-В.3-72.

Таблица 3.16

Класс стали	С 38/23	С 44/29	С 46/33	С 52/40	
λ_c	100	92	88	86	

3.47. Внецентренно сжатые составные стержни постоянного сечения при изгибе в плоскости наименьшей жесткости ($J_y < J_x$ и $e_y \neq 0$) и при $\lambda_x > \lambda_y$, кроме проверки по формуле 3.13, должны проверяться на устойчивость из плоскости

действия момента как центрально-сжатые стержни по формуле:

$$\frac{N}{\varphi_x F} \leq R \qquad (3.17)$$

где φ_x - коэффициент продольного изгиба центрально-сжатых элементов, принимаемый по таблице I приложения.

Примечание. При $\lambda_x \leq \lambda_y$ проверки устойчивости из плоскости действия момента не требуется.

3.48. Составные стержни из двух сплошностенчатых ветвей с решетками в двух параллельных плоскостях, подверженные сжатию и изгибу в обеих главных плоскостях, проверяются на устойчивость в соответствии с указаниями СНиП II-В.3-72.

3.49. Внецентренно сжатые составные стержни постоянного квадратного сечения (стойки опор на оттяжках) при изгибе в плоскости, расположенной под углом 45^0 к грани стойки (см.рис. 3.8), должны проверяться на устойчивость в плоскости действия момента по формуле 3.13 .

При этом относительный эксцентриситет определяется по формуле:

$$m = e_0 \frac{F y_0}{J} \qquad (3.18)$$

где y_0 - расстояние от центра сечения до наиболее сжатого пояса в плоскости изгиба по рис.3.8

e_0 - эксцентритет приложения нормальной силы по рис. 3.8

F - площадь сечения всего стержня брутто

J - момент инерции сечения относительно оси о - о по рис. 3.8.

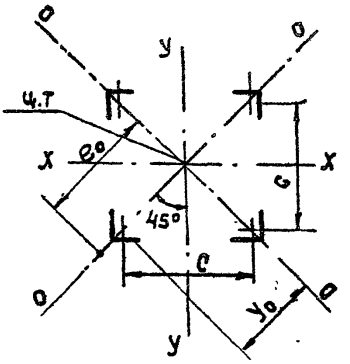


Рис. 3.8

3.50. В составных внецентренно сжатых элементах, кроме проверки стержня в целом по формуле (3.13), должны быть проверены отдельные ветви (пояса).
Продольная сила в каждом поясе определяется с учетом дополнительного усилия от изгибающих моментов.
В стойках опор с оттяжками, кроме моментов от действия поперечных сил и внешних моментов, должны учитываться также моменты от действия продольной силы на прогибах, вызванных поперечной нагрузкой и внешним изгибающим моментом.

3.51. Изгибающий момент в середине шарнирно опертой стойки опоры на оттяжках от действия продольной силы на прогибах, вызванных поперечной нагрузкой, определяется по формуле:

$$M_f = N(f_0 + f_1) K_c \frac{1}{1 - \frac{N}{N_э}} \qquad (3.19)$$

где

N – нормальная сила в стойке;

f_0 – прогиб стойки от внешней поперечной нагрузки

f_1 – допускаемая при монтаже стрела прогиба стоек; /принимается равной $1/750\,\ell$ /

ℓ – геометрическая длина стойки

K_c – коэффициент, учитывающий податливость соединений составного стержня, принимаемый в соответствии с указаниями п.3.43

$$N_э = \frac{\pi^2 E J}{\ell^2} \qquad (3.20)$$

$J = \frac{\ell^2}{\lambda^2_{пр}}$ – момент инерции стойки

$\lambda_{пр}$ – приведенная гибкость стойки, определяемая по формулам табл. 3.11.

F – площадь поперечного сечения всего стержня (брутто)

3.52. Отдельные пояса составных элементов с решетками проверяются как центрально-сжатые стержни по формуле (3.2) с учетом указаний п.3.33.

При проверке отдельных поясов элементов с планками должен быть учтен местный изгиб поясов от фактической поперечной силы (как в поясах безраскосной фермы). При этом расчет поясов должен производиться как по прочности на одновременное действие нормальной силы и изгибающего момента, так и по устойчивости – как внецентренно сжатого элемента.

3.53. Соединительные решетки или планки составных внецентренно-сжатых стержней должны рассчитываться на поперечную силу, равную большей из величин: фактической поперечной силы или условной поперечной силы Q усл., вычисленной согласно указаниям п.3.37.

Примечание. В случае, когда фактическая поперечная сила больше условной, соединение ветвей составных внецентренно-сжатых элементов с помощью планок, как правило, не рекомендуется.

3.54. Фактическая поперечная сила в шарнирно опертых составных стойках постоянного сечения опор с оттяжками, условно приложенная в центре тяжести сечения в направлении прогиба, принимаемая постоянной по всей длине стойки, вычисляется по формуле:

$$Q_ф = Q_{макс} + \frac{N\pi}{\ell} K_c (f_a + f_1) \times \frac{1}{1 - \frac{N}{N_э}} \quad /3.21/$$

где $Q_{макс}$ – максимальная поперечная сила от внешней нагрузки;
остальные обозначения по п.3.51.

3.55. Изгибающий момент и сила, срезающая планку в шарнирно-опертых составных стойках с планками при действии ветровой нагрузки определяется по формулам (3.10),(3.11), (3.12). При этом вместо $Q_{усл.}$ принимается фактическая поперечная сила, вычисленная по формуле (3.21), изгибающий момент в поясе определяется по формулам:

$$M = \frac{Q_n \cdot \ell}{4} \quad \text{(для четырехгранных стержней)} \qquad (3.22)$$

$$M = \frac{Q_n \cdot \ell}{3} \quad \text{(для трехгранных стержней)} \qquad (3.23)$$

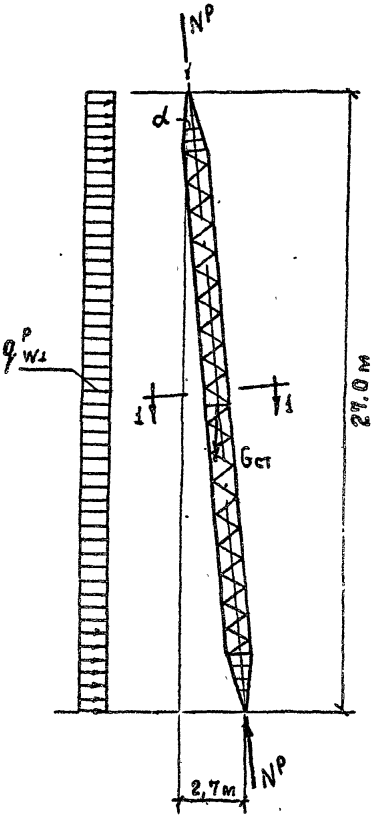
где Q_n – фактическая поперечная сила, приходящаяся на одну грань;
ℓ – расстояние между центрами планок (рис.3.6).

Примечание. При установке планок в двух смежных гранях стержня, проверка пояса должна производиться с учетом моментов, возникающих в обеих гранях.

3.56. В центрально или внецентренно-сжатых стержнях наибольшее отношение расчетной ширины не окаймленного или окаймленного свеса сжатой полки "b" к толщине "δ" определяется в зависимости от гибкости стержня и вида поперечного сечения в соответствии с указаниями п.6.14 СНиП II-В.3-72.

3.57. Расчет элементов грубчатого сечения на общую устойчивость и проверка местной устойчивости стенки производится в соответствии с указаниями СНиП II-В.3-72.

Пример № 2. Проверить общую и местную устойчивость стойки портальной опоры на оттяжках.



Исходные данные: Материал стойки – сталь ВСт3.

Нормальная сжимающая сила, действующая в сеч. I–I с учетом половины веса стойки $N^p = 44,0$ тс

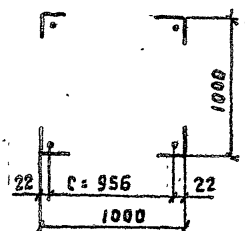
Поперечная нагрузка на стойку от ветра $q^p_{w1} = 0,063$тс/пм.

Вес стойки $G_{ст} = 1,90$тс

$$\ell_{ст} = \sqrt{27^2 + 2,7^2} = 27,14\text{м}$$

$$\sin\alpha = \frac{2,70}{27,14} = 0,0995$$

Сечение стойки по I–I

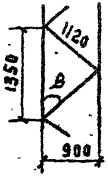


Пояса – ∠ 80х6, $F_п = 9,38$см2, $z_x = 2,47$см, раскосы – ∠40х4, $F_р = 3,08$см^2, $z_y = 0,78$см

Проверка общей устойчивости производится в соответствии с указаниями п.п. 3.43 и 3.44.

Гибкость стойки по ф-ле (3.7)

$$\lambda = \frac{2 \times 27,14}{0,956} = 57$$



Приведенная гибкость по формуле (3.4)

$$\lambda_{пр} = \sqrt{57^2 + 4x9{,}38\,\frac{27x2}{3{,}08}} = 62{,}5$$

$$\sin\beta = \frac{900}{1120} = 0{,}8; \quad \beta = 53^0; \quad K=27 \text{ (по табл. 3.11)}$$

Момент инерции стойки по п.3.43

$$J_{ст} = 4x9{,}38x\,\frac{27{,}14^2 x10^4}{62{,}5^2} = 7{,}7x10^4 см^4$$

Общая устойчивость проверяется по формуле (3.13).
Условная приведенная гибкость (по п.3.43)

$$\bar{\lambda}_{пр} = 62{,}5\sqrt{\frac{2100}{2{,}1x10^6}} = 2{,}0$$

Максимальный изгибающий момент в сеч. I-I

$$M_{макс} = M_{ветр} - M_{вес} = \frac{0{,}063x27{,}0^2}{8} - \frac{1{,}9x2{,}7}{8} \approx 5{,}10 тсм$$

Относительный эксцентриситет по табл. 3.14

$$m = 1{,}2\,\frac{5{,}10x4x9{,}38x10^{-4}x0{,}956}{44{,}0x7{,}7x10^{-4}x2} = 0{,}32$$

при $m < 3$ и $\bar{\lambda} < 4$ по табл. 3.14.

$$M = M_{макс} = 5{,}10 \text{ тсм}$$

По табл. 61 СНиП II-В.3-72 при $\bar{\lambda}_{пр} = 2{,}0$ и $m = 0{,}32$

$$\varphi_{e_M} = 0{,}64$$

Тогда $\sigma = \frac{44000}{0{,}64x4x9{,}38} = 1830 < 2100$ кгс/см2

Проверка местной устойчивости производится в соответствии с указаниями п.п. 3.50 ÷ 3.52

По формуле (3.20):

$$N_э = \frac{3{,}14^2 x2{,}1x10^6 x7{,}7x10^4}{27{,}14^2} = 217 тс$$

Прогиб стойки от внешней поперечной нагрузки

$$f_q = \frac{5x0,063x27,I4^4}{384x2,IxI0^6x7,7xI0^4} - \frac{5xI,9x0.0995x27,I4^4}{384x27,I4x2,IxI0^6x7,7xI0^4}$$

$$= 2,44 \text{ см.}$$

Изгибающий момент в сечении I-I от действия продольной силы на прогибе от поперечной нагрузки по формуле (3.I9)

$$M_f = 44,0x(2,44+3,6)xI0^2xI,2\,\frac{I}{I-\frac{44,0}{2I7,0}} = 3,98 \text{ тсм}$$

Усилие в поясе:

$$U_n = \frac{44}{4} + \frac{5,I0+3,98}{2x0,956} = I5,75 \text{ тс}$$

Раскосы к поясу крепятся одиночным болтом.
Отношение усилия в раскосе к усилию в поясе не превышает I5%, поэтому по п.3.33 $\alpha = I$.
Геометрическая длина панели пояса ℓ_n =I35 см.
Расчетная длина по указаниям п.3.59.

ℓ_e =I35xI,I4=I54 см, где I.I4 по табл. 3.I8

Гибкость $\lambda = \frac{I54}{2,47} = 62$ по приложению I для стали Ст3 $\varphi = 0,8I$

Тогда по формуле (3,2)

$$\sigma = \frac{I5750}{0,8Ix9,38} = 2070 < 2I00 \text{ кгс/см2}$$

3.58. Сжатый пояс из одиночного уголка с телескопическим стыком или со стыком, осуществляемым на уголковых накладках, рассчитывается как внецентренно сжатый элемент по формуле (3.I3).
При этом принимается:

N – максимальная продольная сила в поясе на расчетной длине панели;

F – площадь поперечного сечения пояса брутто, определяемая, в зависимости от места расположения стыка, в соответствии с приводимыми ниже указаниями.

φ_{e_H} – коэффициент, определяемый для сплошностенчатых стержней по таблице 60 приложения 6 СНиП II-В.3-72 в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}=\lambda\sqrt{\frac{R}{E}}$ и приведенного эксцентриситета m_1, равного относительному эксцентриситету m (коэффициент влияния формы сечения η принимается равным единице). Значения φ_{e_H} принимаются не выше значений φ (для центрально-сжатых стержней по приложению I) для всех видов стыков (сварных и болтовых), кроме болтовых стыков с односторонними накладками, для которых значения φ_{e_H} должны приниматься не более $0{,}95\varphi$.

λ – гибкость пояса определяется в зависимости от расположения стыка по длине пояса в соответствии с приводимыми ниже указаниями. Эксцентриситет "e" и относительный эксцентриситет "m" определяются для уголка пояса или стыковой накладки в зависимости от типа стыка и его расположения по длине пояса в соответствии с приводимыми ниже указаниями:

а) телескопический стык в пределах панели пояса (вне узла) при любой схеме решетки.

Расчет пояса при таком расположении стыка производится в предположении, что в рассматриваемой панели пояс выполнен из уголка меньшего из стыкуемых сечений. Поэтому значения F и λ, необходимые для расчета по формуле (3.73), принимаются по меньшему из стыкуемых сечений, а относительный эксцентриситет "m" определяется по формуле (3.24):

$$m_1 = e_0 \frac{i}{i+i_5} \cdot \frac{F}{\mathcal{J}_{min}} \chi \qquad (3.24)$$

где

e_o – расстояние между центрами тяжести стыкуемых уголков по оси x_0-x_0 (рис.3.9)

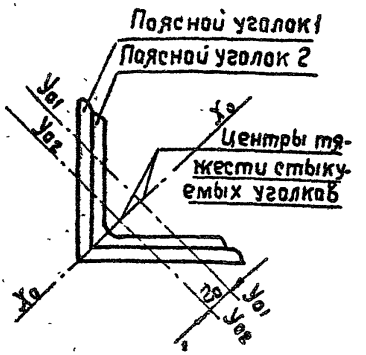


Рис. 3.9

F – площадь поперечного сечения брутто меньшего из стыкуемых уголков;

x – расстояние от оси y_0-y_0 до наиболее сжатого волокна меньшего из стыкуемых уголков.

$i=\frac{J_{мин}}{\ell}$; $i_\delta=\frac{J_{\delta мин}}{\ell}$ – наименьшие погонные жесткости соответственно меньшего и большего стыкуемых уголков;

ℓ – длина панели пояса при решетке с совмещенными узлами или длина полупанели пояса при решетке с несовмещенными узлами, на которой размещен стык. Длина панели принимается в соответствии с рис. 3.2а ÷ 3.2ж.

$J_{мин}$; $J_{\delta мин}$ – минимальные моменты инерции поперечных сечений брутто (относительно оси y_0-y_0) меньшего и большего уголков.

б) стык с односторонней внешней накладкой из уголка при расположении его в пределах панели при любой схеме решетки или в узле при решетке с несовмещенными узлами.

Расчет пояса производится в предположении, что в рассматриваемой панели пояс выполнен из уголка меньшего из стыкуемых сечений. Поэтому f и λ, необходимые для расчета по формуле (3.13), принимаются для меньшего из сечений, а значение относительного эксцентриситета "m" принимается большим из определяемых по формуле (3.25) и (3.26).

$$m_1 = e_0 \frac{N_н}{N} \frac{i}{i+i_б} \frac{F}{J_{мин}} X \qquad (3.25)$$

$$m_2 = 0{,}5\, e_н \frac{N_н}{N} \frac{F_н}{J_н} X_н \qquad (3.26)$$

где e_0 – расстояние между центрами тяжести поперечных сечений стыкуемых поясов по оси $x_0 - x_0$.

N – продольная сила в рассчитываемой панели пояса

$N_н$ – продольная сила в накладке (при расположении стыка в узле $N_н$ принимается с учетом силы, передаваемой на верхний стыкуемый пояс примыкающим к нему в узле раскосом. При расположении стыка вне узла $N_н = N$)

$e_н = 0{,}5(e_1 + e_2)$ – эксцентриситет накладки

e_1 и e_2 – расстояния между центром тяжести накладки и, соответственно, центрами тяжести меньшего и большего из стыкуемых поясов по оси $x_0 - x_0$.

$i = \frac{J_{мин}}{\ell}$; $i_б = \frac{J_{б\,мин}}{\ell}$ – наименьшие погонные жесткости соответственно меньшего и большего стыкуемых уголков на длине панели, в которой расположен стык.

F – площадь поперечного сечения брутто меньшего из стыкуемых уголков.

X – расстояние от оси $y_0 - y_0$ до наиболее сжатого волокна меньшего из стыкуемых уголков.

$J_{мин}, J_{б\,мин}$ – минимальные моменты инерции поперечного сечения брутто (относительно оси $y_0 - y_0$) соответственно меньшего и большего стыкуемых поясов.

ℓ – длина панели пояса при рейтке с совмещенными узлами или полупанели пояса при решетке с несовмещенными узлами, на которой размещен стык (При расположении стыка в узле – длина панели на которой размещен стык).
Длина панели принимается в соответствии с рис. 32а÷32ж.

$f_н, x_н, J_{н\,мин.}$ – соответственно площадь сечения брутто, расстояние от оси y_0–y_0 до наиболее сжатого волокна и минимальный момент инерции поперечного сечения брутто уголковой накладки.

При таком стыке должна быть проверена также уголковая накладка по формуле (3.27)

$$\frac{N_н}{f_{нт}} + \frac{M_н}{J_{н\,мин}} x_н \leq R \qquad (3.27)$$

где $M_н = N_н \cdot e_н$; $f_{нт}$ – площадь сечения накладки нетто

в) Стык с односторонней внешней накладной из уголка при расположении его в узле при решетке с совмещенными узлами.

При таком расположении стыка расчет пояса по формуле (3.13) должен производиться в каждой из примыкающих к узлу панелей.

Относительный эксцентриситет пояса "m" для каждой панели определяется по формуле (3.28)

$$m = e\frac{f}{J_{мин}} x \qquad (3.28)$$

где $f, J_{мин.}, x$ — соответственно площадь поперечного сечения брутто, минимальный момент инерции (относительно оси y_0–y_0) и расстояние от оси y_0–y_0 до наиболее сжатого волокна пояса в расматриваемой панели.

e – эксцентриситет, определяемый как алгебраическая сумма по формулам (3.29) и (3.30).

при $\bar{\lambda}<4$ $$e=\left(e_o\frac{i}{i+i_c}\pm 0.145e_1\right)\left(1-\frac{\bar{\lambda}}{12}\right)\frac{N_н}{N} \quad (3.29)$$

при $\bar{\lambda}>4$ $$e=\left(\frac{2}{3}e_o\frac{i}{i+i_c}\pm 0.1e_1\right)\frac{N_н}{N} \quad (3.30)$$

Здесь: e_o – расстояние между центрами тяжести поперечных сечений стыкуемых поясов по оси x_0-x_0;

$i=\frac{J_{мин}}{l}$ – наименьшая погонная жесткость рассчитываемого пояса (в рассматриваемой панели);

$i_c=\frac{J_{c\,мин}}{l_c}$ – наименьшая погонная жесткость пояса в смежной панели, примыкающей в узле к рассматриваемой;

$J_{мин}, J_{c\,мин}, l, l_c$ – соответственно минимальные моменты инерции поясов (относительно оси y_0-y_0) и длины рассматриваемой и смежной панелей пояса.

e_1 — расстояние между центрами тяжести поперечного сечения уголковой накладки и меньшего из стыкуемых поясов по оси x_0-x_0;

N – продольная сила в панели пояса выше стыка;

$N_н$ – продольная сила в накладке (с учетом силы, передаваемой на верхний стыкуемый пояс примыкающим к нему в узле раскосом).

В формулах (3.29) и(3.30) знак " + " принимается в случаях, когда при изгибе пояса, вызванного эксцентриситетом накладки e_1 и эксцентриситетом e_o (несовпадения центров тяжести сечений стыкуемых поясов) в сечениях пояса вне стыка появляются напряжения одного знака и знак " – " в противоположных случаях (смотри пример расчета № 4).

При таком стыке должна быть также проверена уголковая накладка по формуле (3.27).

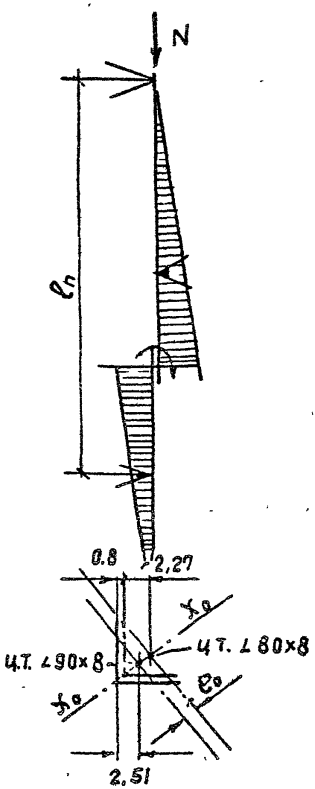
При этом принимается $M_н=0,85\,N_н\times\left(e_1+e_o\frac{i_в}{i_в+i_н}\right)$

где $i_в = \frac{J_{мин.в}}{l}$ – наименьшая погонная жесткость пояса в верхней панели, примыкающей к узлу.

$i_н = \frac{J_{мин.н}}{l}$ – наименьшая погонная жесткость пояса в нижней панели, примыкающей к узлу.

г) при наличии стыка с двухсторонними угловыми накладками расчет пояса по формуле (3.13) производится:
при стыке в пределах панели при любой схеме решетки или в узле при решетке с несовмещенными узлами – также как для телескопического стыка (по п.а);
при расположении стыка в узле при решетке с совмещенными узлами – также как с односторонней накладкой (п.в) при условии, что $e_i = 0$.

При проектировании таких стыков необходимо стремиться к тому, чтобы общий центр тяжести поперечного сечения накладок совпадал с центром тяжести сечения меньшего из стыкуемых поясов. Накладки должны проверяться на сжатие по площади $F_{нт}$ по формуле (3.1)



Пример № 3. Пояс с телескопическим стыком в панели при решетке с несовмещенными узлами с креплением раскосов к поясу одним болтом. Материал-сталь ВСт3.

Верхний пояс – ∠80х8

$f_{бр.}$=I2.3см2; $J_{мин}$= 30,3 $см^4$

Z_0 =2.27см; J_x= 2,74см;

$J_{мин}$= I,57 см.

Нижний пояс – ∠90х8

$f_{бр}$ = I3,9см2; $J_{мин}$=43,8 $см^4$

Z_0= 2,5I см; $J_{мин}$= I,77 см.

Длина панели ℓ_n= I65 см. Расчетная продольная сила в полупанели, где расположен стык N_p =I6,0тс.

По указаниям п.3.58а: Расчетная гибкость панели

$$\lambda = \frac{I,I4\ell_n}{J_x} = \frac{I,I4 \times 165}{2,44} = 77;$$

приведенная гибкость

$$\bar{\lambda} = 77\sqrt{\frac{2I00}{2,IxI0^6}} = 2,42$$

$$i = \frac{30,3}{d2,5} = 0,368 \quad i_x = \frac{43,8}{d2,5} = 0,532$$

e_0 =I,4Ix(2,27+0,8-2,5I)=0,79см;

по формуле (3,24):

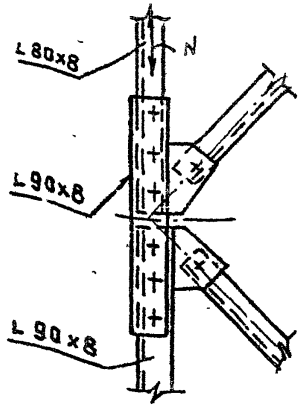
$$m = 0,79 \frac{0,368}{0,363+0,532} \times \frac{I2,3}{30,3} \times$$

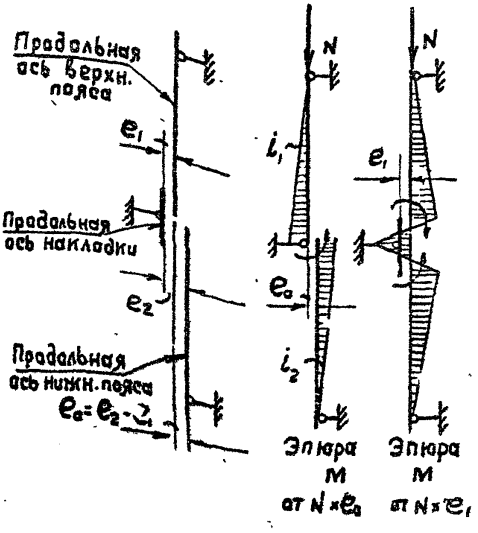
xI,4Ix2,27=0,4I7 (наиболее сжат обушок)

По табл.60 приложения 6 СНиП II-В.3-72 по λ и m

$\varphi_{вн}$ = 0,625

По формуле (3.I3) $\sigma = \frac{I6000}{0,625 \times I2,3} = 2080 < 2I00$ кгс/$см^2$





Эпюры **M** строятся для двухпролетной системы, при этом для случая $N e_1$, принимается равномерное распределение момента по длине накладки в каждой ее половине

Пример № 4. Стык поясов с односторонней внешней уголковой накладкой при расположении его в узле при решетке с совмещенными узлами.

Материал – сталь ВСт3

Верхний пояс ∠ 80х8

$f_{бр}$ =I2,3см2;

$J_{мин}$=30,3 см^4;

z_0 =2,27см;

$r_{мин}$=I,57см.

Нижний пояс ∠ 90х8

$f_{бр}$=I3,9см2; $J_{мин}$=43,8см^4

z_0=2,5Iсм;

$r_{мин}$= I,77см.

Накладка ∠ 90х8

$f_{нт}$= I2,5 см2

Расчетные нормальные силы:

в верхнем поясе

N_1 =I6,0 тс

в накладке $N_н$=I7,5тс

в нижнем поясе

N_2 = I9,0 тс

Длины панелей:

верхней l_1 =I20 см

нижней l_2 =I40 см

По указаниям п.3.58в: гибкости поясов в верхней панели:

$$\lambda_1 = \frac{I20}{I,57} = 77;$$

$$\bar{\lambda}_1 = 77\sqrt{\frac{2I00}{2,I\cdot I0^6}} = 2,42$$

в нижней панели $\lambda_2 = \frac{I40}{I,77} = 79$

$$\bar{\lambda}_2 = 79\sqrt{\frac{2I00}{2,I\cdot I0^6}} = 2,5$$

$e_0 = I,4Ix(z_{0,2} - z_{0,1}) = I,4Ix(2,5I-2,27) =$

$= 0,338$ см.

$e_1 = I,4I\times(z_{0,1} + \delta_н - z_{0,2}) = I,4I(2,27+0,8-2,5I) =$

$= 0,79$см.

$l_1 = \frac{30,3}{I20} = 0,252; \quad l_2 = \frac{43,8}{I40} = 0,3I3$

Пояс в верхней панели (наиболее сжато перо см.схему)

По формуле (3.29) при $\bar{\lambda} < 4$

$$e = (0,338x \frac{0,252}{0,252+0,3I3} - 0,I45x0,79)(I - \frac{2,42}{I2})\frac{I7,5}{I6,0}$$

$= 0,0305$см.

По формуле (3.28):

$$m = 0,0305 \frac{I2,3}{30,3} x(0,707x8-I,4Ix2,27) = 0,03.$$

Поскольку при таком значении m и $\bar{\lambda}$ по табл. 60 приложения 6 СНиП II-В.3-72 $\varphi_{ви} > 0,95\varphi$ в расчет вводится $0,95\varphi$, тогда при $\lambda_1 = 77$ по приложению I $\varphi = 0,73I$

По формуле (3.I3): $\sigma = \frac{I6000}{0,95x0,73IxI2,3} = I880$ кгс/см^2

Пояс в нижней панели (сжат обушок см.схему)

по формуле (3.29) при $\bar{\lambda} < 4$

$$e = (0,338x \frac{0,3I3}{0,3I3+0,252} + 0,I45x0,79)(I - \frac{2,5}{I2})\frac{I7,5}{I6,0}$$

$= 0,244$ см.

По формуле (3.28):

$$m = 0,244 \frac{I3,9}{43,8} x\ I,4Ix2,5I = 0,273;$$

$\varphi_{ви} = 0,66 < 0,95x0,7I$

По формуле (3.13) $\sigma = \frac{19000}{0,66 \times 13,9} = 2040 < 2100$ кгс/см^2

Уголковую накладку проверяем по формуле (3.27) наиболее сжато перо (см. схему)

$M_н = 0,85 \times 17500 (0,79 + 0,338 \frac{0,252}{0,252 + 0,313}) = 14000$ кгс см.

$\sigma = \frac{17500}{12,5} + \frac{14000}{43,8} \cdot (0,707 \times 9 - 1,41 \times 2,51) = 1400 + 925 =$

$= 2325 < 2100$ кгс/см2

Т.о. накладка должна быть увеличена.

При накладке из ∠ 100х7 $Z_0 = 2,71$ см

$F_{нт} = 12,5$ см2

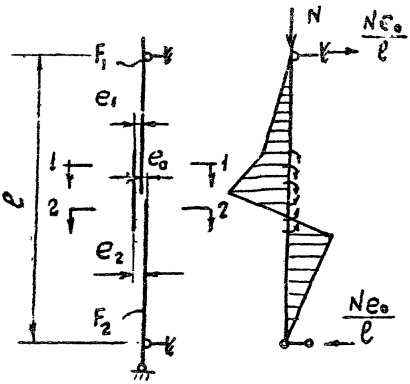
$e_1 = 1,41(2,27 + 0,7 - 2,71) = 0,366$см

$M_н = 0,85 \times 17500 (0,366 + 0,338 \frac{0,252}{0,252 + 0,313}) =$

$= 7650$ кгс см.

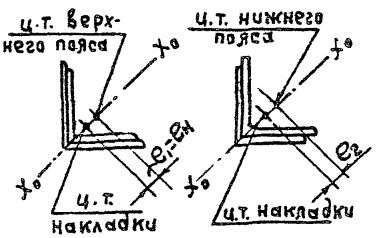
$\sigma = \frac{17500}{12,5} + \frac{7650}{54,2} (0,707 \times 10 - 1,41 \times 2,71) =$

$= 1400 + 458 = 1858$ кгс/см2.



$$Ne_0 = N(e_2 - e_1)$$

По 1-1 По 2-2



Пример №5. Стык поясов с односторонней внешней уголковой накладкой в середине панели при решетке с совмещенными узлами. Материал – сталь ВСт.3 Верхний пояс ∠80х6; нижний ∠90х8, накладка ∠90х8

Характеристики угловых профилей см. пример № 4

Длина панели ℓ_n = 120см.

Расчетная продольная сила N_p = 16,0т с.

По указаниям п.3.58б:

m_1 по формуле (3.25), здесь $N_н = N$

e_0 = 0,338см (см. пример № 4).

$$i = \frac{30,3}{120} = 0,252$$

$$i_б = \frac{43,8}{120} = 0,365$$

$$m_1 = 0,338\frac{0,252}{0,252+0,365} \times \frac{12,3}{30,3}(0,707\times - 1,41\times 2,27) = 0,138$$

(сжато перо см. схему)

m_2 по формуле (3.26)

здесь $e_н = 0,5 \times (e_1 + e_2) =$

$= 0,5\times(0,79+1,13) = 0,96$ см, e_1 по примеру № 4,

$e_2 = 1,41\times 0,8 = 1,13$см

$$m_2 = 0,5\times 0,96\,\frac{13,9}{43,8}(0,707\times 9 - 1,41\times 2,51) = 0.43 \text{ (сжато пер.)}$$

Поскольку $m_2 > m_1$ в расчет вводится m_2

$$\lambda = \frac{120}{1,57} = 77; \quad \varphi = 0,731; \quad \bar{\lambda} = 77\sqrt{\frac{2100}{2.1.10^6}} = 2,42$$

$$\varphi_{6м} = 0,62 < 0,731 \times 0,95$$

$$\sigma = \frac{16000}{0,62 \times 12,3} = 2100 \text{ кгс/см2}$$

Проверка накладки по формуле (3.27):

$$\sigma = \frac{16000}{12,5} + \frac{16000 \times 0,96}{43,8}(0,7 \times 9 - 1,4 \times 2,5 \times 1) =$$

$$= 1300 + 970 = 2270 > 2100 \text{ кгс/см2}$$

Т.о. накладку следует принять большего сечения.

РАСЧЕТНЫЕ ДЛИНЫ И ПРЕДЕЛЬНЫЕ ГИБКОСТИ

Расчетные длины

3.59 Расчетные длины ℓ_0 и радиусы инерции при определении гибкости элементов пространственных решетчатых конструкций из одиночных равнобоких уголков должны приниматься по табл. 3.17.

Гибкость элемента из одиночного уголка определяется делением расчетной длины элемента ℓ_0 на соответствующий радиус инерции.

Таблица 3.17

Вид конструкции	Пояса		Элементы решетки		
	расчетная длина l_0	радиус инерции r	расчетная длина l_0 раскоса	расчетная длина l_0 стойки	радиус инерции r
Конструкции с совмещенными в смежных гранях узлами (рис. 3.2д, 3.2е, 3.2з, 3.2и, 3.2к, 3.2л, 3.2м) за исключением пересекающихся стержней перекрестной решетки	$l_п$	$r_{мин}$	$\mu_р l_р$	$0,8 l_с$	$r_{мин}$
То же, по рис.3,2ж	$l_п$	$r_{мин}$	$\mu_р l_р$	$0,65 l_с$	$r_{мин}$
Конструкции с несовмещенными в смежных гранях узлами (рис. 3.2а, 3,2б, 3.2в, 3.2г) за исключением пересекающихся стержней перекрестной решетки	$\mu_п l_п$	$r_х$	$\mu_р l_р$	—	$r_{мин}$
Пересекающиеся стержни перекрестной решетки (рис. 3.2б и 3.2д)	—	—	$\mu_р l_р^*$	—	$r_{мин}$
То же, по рис.3.2к	—	—	$\mu_р l_р^*$	—	$r_х$
Пересекающиеся стержни сложной перекрестной решетки по рис.3.2в,	—	—	$l_р$	—	$r_{мин}$
Раскосы по рис. 3.2з, раскос P_I по рис 3.2л и 3.2м	—	—	$l_р$	—	$r_{мин}$
Раскос P_3 по рис. 3.2л	—	—	$\mu_р l_р$	—	$r_{мин}$
Раскосы по рис. 3.2 и, раскос P_2 по рис. 3.2л и 3.2м, раскос P_6 по рис. 3.2м	—	—	$\mu_р l_р$	—	$r_х$

Продолжение табл.3.I7

где $\mu_п$ – коэффициент расчетной длины пояса, определяемый по табл. 3.I8

$\mu_р$ – коэффициент расчетной длины раскоса, определяемый в зависимости от вида прикрепления раскоса по табл. 3.I9

$\ell_р^*$ – принимается в зависимости от условий загружения поддерживающего стержня по табл. 3.20

Примечание. Для элементов шпренгелей ℓ_0 определяется в зависимости от условий их прикрепления к рабочим стержням по аналогии с основными раскосами.

Таблица 3.I8

$i_п / i_р$	≥I0	5	2,5	I,25	≤I
$\mu_п$	I,I3	I,08	I,03	I	0,98

где

$\mu_п$ – коэффициент расчетной длины пояса при прикреплении раскосов к поясу из равнобокого уголка двумя и более болтами или сварными швами;

$\frac{i_п}{i_р} = \frac{J_{пмин} \cdot \ell_р}{J_{рмин} \cdot \ell_п}$ – отношение наименьших погонных жесткостей пояса и раскоса;

$J_{пмин}$ и $J_{рмин}$ – наименьшие моменты инерции пояса и раскоса

$\ell_п$ и $\ell_р$ – длина панели пояса и длина раскоса по рис. 3,2а, 3.2б, 3.2в и 3.2 г.

Примечание. Если раскосы прикреплены к поясу одним болтом или через фасонку, принимается $\mu_п$=I,I4 независимо от $i_п/i_р$.

Таблица 3.19

Вид соединения раскоса	i_n/i_p	Коэффициенты μ_p при: l_p/r_{min} — для конструкций по рис. 3.2а, 3.2г, 3.2е, 3.2ж и раскос P_3 по рис. 3.2л; l_p/r_x — для конструкций по рис. 3.2и, раскоса P_2 по рис. 3.2л и 3.2м и раскоса P_6 по рис. 3.2м; l_p^o/r_{min} — для конструкций по рис. 3.2б и 3.2д; l_p^o/r_x — для конструкций по рис. 3.2к						
		≤ 80	I00	I20	I40	I60	I80	≥200
I. Оба конца раскоса крепятся непосредственно к поясу сварными швами или двумя и более болтами	≤2	0,98	0,89	0,83	0,77	0,74	0,72	0,7
	≥6	0,92	0,84	0,78	0,74	0,7	0,7	0,7
2. То же, одним болтом	Независимо от i_n/i_p	I,0	0,94	0,88	0,83	0,8	0,78	0,77
3. Оба конца раскоса крепятся через фасонки	Независимо от i_n/i_p	I						
4. Один конец раскоса крепится непосредственно к поясу или к элементу решетки (раскосу, стойке) при помощи сварки или болтов, второй конец – через фасонку		$\frac{1+\mu_p}{2}$ где μ_p – определяется в зависимости от вида прикрепления раскоса п.п. I или 2						

Продолжение табл. 3.19

$i_п / i_р$ – отношение наименьших погонных жесткостей пояса и раскоса:

$i_п/i_р = \frac{J_{п\,мин} \cdot l_р}{J_{р\,мин} \cdot l_п}$ – для конструкций по рис. 3.2а, 3.2б, 3.2г, 3.2д, 3.2е, и раскос $Р_3$ по рис. 3.2л

$i_п/i_р = \frac{J_{п\,мин} \cdot l'_р}{J_{р\,мин} \cdot l_п}$ – для конструкций по рис. 3.2и, 3.2к, раскоса $Р_2$ по рис. 3.2л и 3.2м, раскоса $Р_6$ по рис. 3.2м

При прикреплении раскосов к элементам, имеющим разные погонные жесткости (рис. 3.2ж) отношение $i_п/i_р$ принимается средним: $\frac{(J_{р\,мин} \cdot l_с + J_{с\,мин} \cdot l_п) \cdot l_р}{l_п \cdot l_с \cdot 2\, J_{р\,мин}}$

$J_{п\,мин}$, $J_{р\,мин}$ $J_{с\,мин}$ – наименьшие моменты инерции пояса, раскоса и стойки

$l_п$ – длина панели пояса

$l_р$ – длина раскоса по рис. 3.2а, 3.2г, 3.2е, 3.2ж, раскоса $Р_3$ по рис. 3.2л

$l'_р$ – длина панелей раскосов, примыкающих к поясу по рис. 3.2и, 3.2к, раскоса $Р_2$ по рис. 3.2л и 3.2м и раскоса $Р_6$ по рис. 3.2м

$l^{\circ}_р$ – длина пересекающихся раскосов перекрестной решетки по рис. 3.2б, 3.2д, 3.2к, принимается по табл. 3.20

$r_{мин}$ – минимальный радиус инерции сечения раскоса

r_x – радиус инерции сечения раскоса относительно оси, параллельной полке уголка

$l_с$ – длина панели стойки по рис. 3.2ж

Примечание. Промежуточные значения $\mu_р$ определяются интерполяцией.

Таблица 3.20

	Характеристика узла пересечений стержней решетки	Значение ℓ_p^* при растяжении в поддерживающем стержне	при неработающем поддерживающем стержне	при сжатии в поддерживающем стержне
Перекрестная решетка по рис.3.2б, 3.2д	Оба стержня не прерываются	ℓ_p	$1.3\,\ell_p$	$0,8\,L_p$
	Поддерживающий стержень прерывается и перекрывается фасонкой (рассматриваемый стержень не прерывается):			
	а) при совмещенных в двух смежных гранях узлах, а также при несовмещенных узлах, при условии, что $i_n/i_p \geqslant 3$	$1,3\,\ell_p$	$1,6\,\ell_p$	L_p
	б) при несовмещенных узлах и условии, что $i_n/i_p = 1$	$1,6\,\ell_p$	$1,8\,\ell_p$	L_p
	Поддерживающий стержень не прерывается (рассматриваемый стержень прерывается и перекрыт фасонкой) независимо от i_n/i_p	$1,3\,\ell_p$	–	–
Перекрестная решетка по рис. 3.2к	Оба стержня не прерываются	ℓ_p	$1,3\,\ell_p$	L_p

Обозначения, принятые в таблице:

$i_n/i_p = \dfrac{J_{n\,min} \cdot \ell_p}{J_{p\,min} \cdot \ell_n}$ – отношение наименьших погонных жесткостей пояса и раскоса

$J_{n\,min}$ и $J_{p\,min}$ – наименьшие моменты инерции пояса и раскоса

ℓ_n, ℓ_p, L_p – длина панели пояса и длины раскосов, принимаемые по рис. 3.2б, 3.2д, 3.2к

Примечание. В случае несовмещенных узлов в смежных гранях при прерывающемся поддерживающем стерж-

Продолжение табл. 3.20

	ие значения ℓ_p^o при $1 < \frac{\ell_n}{\ell_p} < 3$ берутся по интерполяции между значениями пунктов "а" и "б".

3.60. Расчетные длины ℓ_o и радиусы инерции сечений при определении гибкости элементов плоских траверз принимаются по таблице 3.21.

Таблица 3.21

Схема конструкции	Пояса		Элементы решетки		
	расчетная длина ℓ_o	радиус инерции r	расчетная длина ℓ_o раскоса	расчетная длина ℓ_o стойки	радиус инерции r
Плоская траверза с поясами и решеткой из одиночных уголков по рис. 3.4а, 3.4б	ℓ_n	r_x	ℓ_p	ℓ_c	$r_{мин}$
	ℓ'_n	$r_{мин}$			
Плоская траверза с поясами из швеллеров и с решеткой из одиночных уголков по рис. 3.4в, 3.4г	ℓ'_n	$r_{мин}$	ℓ_p	ℓ_c	$r_{мин}$
	$1{,}12\ell_n$	r_x			

3.61. Расчетные длины ℓ_o и радиусы инерции элементов составных сечений (крестового или таврового) определяются в соответствии с указаниями главы СНиП II-В.3-72.

Предельные гибкости элементов

3.62 Гибкости элементов из одиночных уголков не должны превышать величин, приведенных в табл. 3.22.

Таблица 3.22

Наименование элементов опоры			Максимально допускаемая гибкость[x]	
			сжатых элементов	растянутых элементов
Пояса			120	250
Раскосы и стойки, передающие опорные реакции (например, опорные раскосы и стойки траверзы)			120	250
Первый снизу раскос решетчатой стойки			150	250
Прочие стержни решетки	Сварные опоры	При использовании несущей способности до 50%	180	350
		То же, на 100%	150	
	Болтовые опоры	При использовании несущей способности до 50%	200	350
		То же, на 100%	180	
Предварительно напряженные стержни			-	не ограничивается
Нерабочие элементы			200	

x) С учетом указаний п.3.64

Примечания:
1. Несущая способность сжатых раскосов в % исчисляется с учетом продольного изгиба.
2. При использовании в сжатых стержнях решетки несущей способности свыше 50% предельные гибкости определяются интерполяцией между 150-180 для сварных опор и между 180-200 для болтовых опор.
3. Гибкость поясов, сжатых и нерабочих элементов решетки определяется в зависимости от расчетной длины l_0 и соответствующего радиуса инерции, принимаемых по табл. 3.17 и 3.21.

4. При проверке гибкости перекрестных растянутых раскосов расчетные гибкости определяются по полной длине раскоса и радиусу инерции r_x (относительно оси, параллельной полке уголка).

5. Расчетная гибкость растянутых не пересекающихся раскосов определяется в зависимости от l_{ef}/r_{min}, где l_{ef} принимается по рис. 3.2а, 3.2г, 3.2е, 3.2ж.

3.63. Гибкость элементов составных сечений (крестового или таврового) не должны превышать величин, приведенных в таблице 3.23 и п.3.64.

Таблица 3.23

Наименование элементов опоры	Максимально допускаемая гибкость x)	
	сжатые элементы	растянутые элементы
Пояса	120	250
Раскосы и стойки передающие опорные реакции	120	250
Прочие стержни решетки	150	350
Предварительно напряженные стержни	—	не ограничивается
Нерабочие стержни	200	

x) с учетом указаний п.3.64

3.64. Гибкость в вертикальной плоскости растянутых и нерабочих элементов таврового и крестового сечений, а также тяг траверз углового, таврового и крестового сечений, в целях предупреждения вибрации в ветровом потоке, не должна превышать 150.

Расчетная длина при определении гибкости в вертикальной плоскости принимается равной расстоянию между узлами или точками пересечения (соединения) с другими элементами, ограничивающими перемещение элементов в вертикальной плоскости.

РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ

Сварные соединения

3.65 Распределение напряжений по длине шва в сварных соединениях при действии на них продольной силы (в стыках или прикреплениях элементов) принимается равномерным.

3.66. Сварные соединения встык, работающие на сжатие и растяжение, рассчитываются по формуле:

$$\frac{N}{\ell_w \cdot \delta} \leq R^{св.} \qquad (3.31)$$

где N – расчетная продольная сила, действующая на соединение;

ℓ_w – расчетная длина шва, равная его полной длине в случае вывода концов шва за пределы стыка; в ином случае расчетная длина принимается меньше полной длины на 10 мм;

δ – наименьшая толщина соединяемых элементов;

$R^{св.}$ – расчетное сопротивление сварного стыкового соединения сжатию или растяжению, принимаемое по таблице 3.6.

3.67. Сварные угловые швы, воспринимающие продольные и поперечные силы, рассчитываются на срез по формуле:

$$\frac{N}{(\beta h_w) \cdot \ell_w} \leq R_y^{св.} \qquad (3.32)$$

где h_w – толщина углового шва, принимаемая равной катету вписанного равнобедренного треугольника (рис. 3.10);

ℓ_w – расчетная длина шва, равная его полной длине за вычетом 10 мм

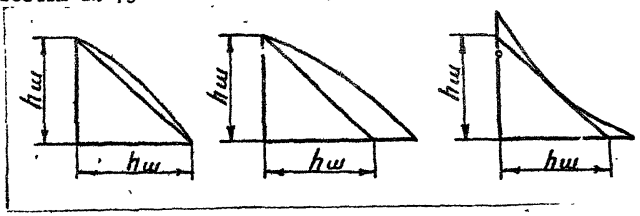


Рис. 3.10. Схемы сечений сварных угловых швов

β - коэффициент, принимаемый в зависимости от вида сварки, которая должна быть оговорена в проекте:
для однопроходной автоматической сварки $\beta = 1$;
для двух- и трехпроходной автоматической сварки $\beta = 0,9$;
для однопроходной полуавтоматической сварки $\beta = 0,85$;
для двух- и трехпроходной полуавтоматической сварки $\beta = 0,8$;
для ручной сварки, а также для многопроходной (более трех) автоматической и полуавтоматической сварки $\beta = 0,7$.

$R_y^{св}$ - расчетное сопротивление углового шва, принимаемое по табл. 3.6.

3.68. Сварные соединения, работающие на изгиб, рассчитываются по формулам, установленным СНиП II-В.3-72 для целого сечения, с расчетными сопротивлениями, принимаемыми согласно табл. 3.5.

3.69 Сварные соединения встык, при одновременном действии нормальных и срезывающих напряжений, проверяются по формуле:

$$\sqrt{\sigma_{св.x}^2 + \sigma_{св.y}^2 - \sigma_{св.x}\cdot\sigma_{св.y} + 3\tau_{св.xy}^2} \le 1{,}15 R_p^{св} \quad (3.33)$$

Где $\sigma_{св.x}$ и $\sigma_{св.y}$ - нормальные напряжения в сварном соединении по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

$\tau_{св.xy}$ - напряжение в сварном соединении от среза

$R_p^{св}$ – расчетное сопротивление сварного соединения встык растяжению, принимаемое по табл. 3.6.

3.70. Угловые швы при одновременном действии в одном и том же сечении шва срезывающих напряжений в двух направлениях рассчитываются на равнодействующую этих напряжений. Угловые швы, прикрепляющие элемент, на который действуют одновременно растягивающие усилия и изгибающий момент, рассчитываются по указаниям пункта 9.3 СНиП II-В.3-72.

Болтовые соединения

3.71. При действии на соединение продольной силы распределение этой силы между болтами принимается равномерным.

3.72. Болтовые соединения, воспринимающие продольные силы, рассчитываются по формулам:

на срез болтов $$\frac{N}{n\, h_{ср} \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \le R^{\delta}_{ср} \qquad (3.34)$$

на смятие $$\frac{N}{n\, d \cdot \Sigma\delta} \le R^{\delta}_{см} \qquad (3.35)$$

на растяжение болтов $$\frac{N}{n\, f_{нт}} \le R^{\delta}_{р} \qquad (3.36)$$

Обозначения принятые в формулах (3.34) + (3,36):

N – расчетная продольная сила, действующая на соединение.

n – число болтов в соединении

$h_{ср}$ – число рабочих срезов одного болта

d – диаметр болта по ненарезной части

$\Sigma\delta$ – наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении

$R^{\delta}_{ср}, R^{\delta}_{см}, R^{\delta}_{р}$ – расчетные сопротивления болтов срезу, смятию и растяжению, определяемые по табл. 3.7

$f_{нт}$ – площадь сечения болта нетто, определяемая по формуле:

$$f_{нетто} = \frac{\pi}{16}(d_2 - d_3)^2 \qquad (3.37)$$

где d_2 – номинальный средний диаметр резьбы

$d_3 = d_1 - \frac{H}{6}$

d_1 – номинальный внутренний диаметр резьбы

H – теоретическая высота резьбы

Величины d_1, d_2 и H принимаются по ГОСТ 9150-59^X "Резьба метрическая для диаметров от I до 600 мм. Основные размеры".

Для болтов диаметром от 12 мм до 30 мм площадь сечения нетто $f_{нт}$ по ГОСТ 9150-59^X соответственно принимается:

Диаметр болта (мм)	12	14	16	20	24	27	30
Площадь нетто ($f_{нт}$ см^2)	0,84	1,15	1,60	2,49	3,59	4,67	5,58

Расчет болтового соединения по типу рис. 3.11а и 3.11б должен производиться:

на срез болта – на большее из усилий, передаваемых на него раскосами

на смятие полок прикрепляемых раскосов – на усилия в соответствующих раскосах

на смятие полки пояса – на равнодействующую усилий, передаваемых раскосами.

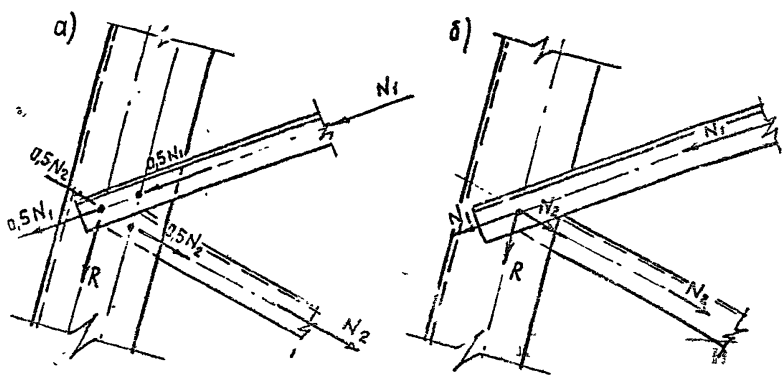


Рис. 3.11

Примечание. В соединениях элементов из сталей различных классов прочности, а также при уменьшенных, в соответствии с примечаниями к таблицам 3.7 и 3.25, расстояниях от края элемента до ближайшего отверстия, расчет на смятие должен быть проведен для каждого из стыкуемых элементов раздельно.

3.73. Болты, работающие одновременно на срез и растяжение, проверяются отдельно на срез и растяжение.

3.74. В креплениях одного элемента к другому через прокладки или иные промежуточные элементы количество болтов должно быть увеличено против расчета на 10%.

3.75. При креплении выступающих полок уголков или швеллеров с помощью коротышей число болтов, прикрепляющих полку коротыша к конструкции, воспринимающей усилие, должно быть увеличено против расчетного на 50%.

УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Общие указания

3.76. Стальные конструкции опор ВЛ и порталов ОРУ должны проектироваться в соответствии с указаниями по проектированию стальных конструкций главы СНиП II-В.3-72 и настоящего раздела.

3.77. Решетчатые элементы промальных опор из одиночных уголков должны быть диафрагмированы не реже, чем через 12-15 м.

В специальных опорах, опорах с элементами составного или другого типа сечений, чем из прокатных уголков, при размещении диафрагм следует учитывать факторы, влияющие на несущую способность - пространственную жесткость конструкции, неравномерность распределения ветрового

давления между передней и задней гранями конструкции при направлении ветра под углом к граням и при кручении, а также удобство и точность монтажа конструкций и сохранность конструкций при перевозке от деформаций. Во всех случаях, независимо от типа опор и сечений элементов, диафрагмы должны быть поставлены во всех сечениях, где приложены нагрузки, могущие вызвать искажение формы поперечного сечения, и во всех сечениях с переломом поясов.

3.78. Конструкции опор ВЛ и ОРУ должны обеспечить возможность закрепления монтажных приспособлений с помощью унифицированных деталей и доступ обслуживающего персонала к узлам крепления гирлянд для производства работ по монтажу и эксплуатации гирлянд, проводов и тросов в соответствии с требованиями ПУЭ и норм технологического проектирования.

3.79. В опорах с оттяжками для уменьшения перемещения опор от горизонтальных нагрузок, в оттяжках должно быть создано предварительное натяжение усилием не менее 1,5-2,0тс.

3.80. Трубчатые элементы и элементы круглых сечений должны проектироваться с учетом мероприятий, предупреждающих появление автоколебаний в ветровом потоке.

Сварные соединения

3.81. В конструкциях со сварными соединениями следует:

а) обеспечивать свободный доступ к местам наложения швов с учетом выбранного способа и технологии сварки;

б) назначать толщины, взаимное расположение швов и выбирать такой способ сварки, чтобы в конструкциях возникали возможно меньшие собственные напряжения и деформации от сварки;

в) избегать сосредоточенности большого количества швов в одном месте;

г) принимать минимально необходимое количество и минимальные размеры сварных швов.

3.82. Разделка кромок под сварку должна назначаться с учетом способа сварки, толщины свариваемых элементов, положения их в пространстве и технологии сварки. Разделку кромок при ручной сварке следует принимать по ГОСТ 14771-69 "Швы сварных соединений. Электродуговая сварка в защитных газах. Основные типы и конструктивные элементы"; ГОСТ 5264-69 "Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы"; ГОСТ 11534-65 "Швы сварных соединений. Ручная электродуговая сварка. Основные типы и конструктивные элементы (под острым и тупым углами)".

3.83. Размеры и форма сварных угловых швов должны удовлетворять следующим требованиям:

а) толщина угловых швов h_w должна быть не менее 4 мм (за исключением швов в деталях толщиной менее 4мм) и не более $1{,}2\,\delta$,

где δ - наименьшая толщина соединяемых элементов;

б) в конструкциях I, II и IУ групп таблицы 3.2 толщины двухсторонних угловых швов h_w при ручной сварке следует принимать не менее указанных в таблице 3.24 и не более $1{,}2\delta$ (наименьшей толщины свариваемых элементов).

Таблица 3.24

Толщина более толстого из свариваемых элементов, в мм	Минимальная толщина h_w в мм для конструкций из сталей классов	
	С38/23-С46/33	С52/40
6-10	4	6
11-22	6	8
23-32	8	10
33-60	10	12
61 и более	12	-

Продолжение табл.3.24

Примечания:	I.	При толщине элементов более 80 мм минимальные толщины угловых швов принимаются по специальным техническим условиям, утвержденным или согласованным в установленном порядке.
	2.	В конструкциях из стали классов С 38/23 ÷ С 46/33 возводимых в районах с расчетными температурами ниже минус 40°С, минимальные толщины швов принимаются такими же, как для стали класса С 52/40.

в) расчетная длина углового (флангового и лобового) шва должна быть не менее $4h_w$ и не менее 40 мм;

г) наибольшая расчетная длина фланговых швов должна быть не более 60 h_w, за исключением швов сопряжений, в которых усилие, воспринимаемое фланговым швом, возникает на всем его протяжении (в последнем случае длина флангового шва не ограничивается);

д) величина напуска в соединениях внахлестку должна быть не менее 5 толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов;

е) в переходных опорах, а также в конструкциях, возводимых в районах с расчетными температурами ниже минус 40°С, угловые швы должны выполняться с плавным переходом к основному металлу; фланговые швы, воспринимающие продольные силы, допускается выполнять с плоской поверхностью;

ж) соотношения размеров катетов угловых швов следует принимать:

для фланговых швов - I:I;

для лобовых швов - I:I в конструкциях из сталей классов С38/23÷С52/40, воспринимающих статические нагрузки;

то же - I : I,5 в переходных опорах, в конструкциях, воспринимающих динамические и вибрационные нагрузки, а также в конструкциях, возводимых в районах с расчетными температурами ниже минус 40°С

3.84. Конструктивные формы сварных соединений в конструкциях, возводимых в районах с расчетными температурами ниже минус 40°С, должны обеспечивать наиболее равномерную эпюру напряжений в элементах и деталях, а также наименьшие реактивные напряжения от сварки. С этой целью необходимо избегать резких геометрических концентраторов напряжений (входящих углов, перепадов сечений и т.д.) особенно, расположенных на участках с высокими местными или остаточными напряжениями. Следует предусматривать выведение концов угловых швов на малонагруженные элементы.
Устройство стыков с неполным перекрытием сечения (например, стык поясов при отсутствии стыка стенки) не допускается.

3.85. В сварных стыковых соединениях листов разного сечения в целях обеспечения плавности перехода сечения от меньшей толщины (ширины) к большей следует предусматривать скосы у более толстого (широкого) листа с одной или двух его сторон с уклоном не более 1:5. Стыкование листов разной толщины без устройства скосов разрешается при условии, если разница в толщинах листов не превышает 4 мм, а величина уступа в месте стыка не превышает I/8 толщины более тонкого листа.

3.86. Применение комбинированных соединений, в которых часть усилий воспринимается сварными швами, а часть болтами, запрещается.

3.87. Применение прерывистых швов, электрозаклепок, выполняемых ручной сваркой с предварительным сверлением отверстий, запрещается.

3.88. Между торцами стыкуемых элементов поясов, перекрываемых накладками, следует оставлять зазор не менее 20мм. Швы накладок, соединяющие накладки с поясами, не должны доводиться до оси стыка на 25 мм с каждой стороны (см.рис. 3.I2.).

Зазор между стыкуемыми элементами пояса заваривать запрещается.

3.89. Сварные стыки поясов опор, эксплуатируемых или монтируемых при расчетной температуре ниже минус 40°С следует располагать вне узлов, при этом наименьшее расстояние между ближайшими краями стыковой накладки и узловой фасонки должно быть не менее удвоенной высоты сечения пояса и не менее 200 мм.

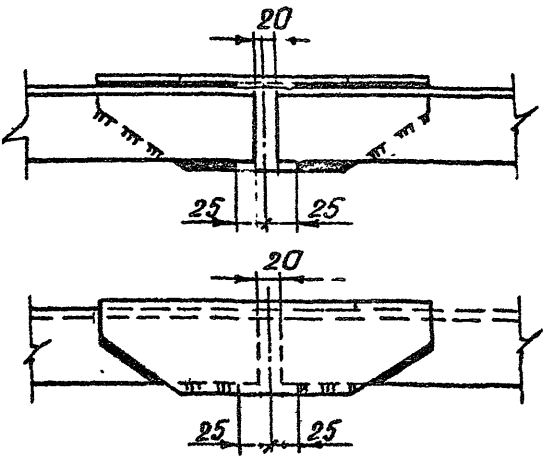


Рис. 3.I2

Болтовые соединения

3.90. Размещение болтов должно производиться в соответствии с табл. 3.25

Таблица 3.25

Характеристика расстояния	Расстояния в соединяемых элементах конструкций из сталей классов	
	С 38/23; С 44/29 С 46/33	С 52/40
I. Расстояние между центрами болтов в любом направлении:		
а) минимальное	$2{,}5d$	$3d$
б) максимальное	$8d$ или 12δ	$8d$ или 12δ
2. Расстояние от центра болта до края элемента:		
а) минимальное вдоль усилия	$2d$	$2d$
б) то же, поперек усилия:		
при обрезных кромках	$1{,}5d$	$1{,}5d$
при прокатных кромках	$1{,}2d$	$1{,}2d$
в) максимальное	$4d$ или 8δ	$4d$ или 8δ

Обозначения, принятые в таблице 3.25:

d – диаметр отверстия

δ – толщина наиболее тонкого наружного элемента

Примечание: При условии снижения расчетных сопротивлений смятию и обеспечении возможности закручивания болтов в соединении, в элементах из сталей классов С 38/23; С 44/29; С 46/33 допускается, уменьшение расстояний между центрами болтов и до края элемента вдоль усилия в соответствии с указаниями п. 3 примечаний к таблице 3.7.

3.9I. При размещении болтов в шахматном порядке расстояние между их центрами вдоль усилия "b" следует принимать не менее $c + 1{,}5\,d$, где c – расстояние между рядами поперек усилия, d – диаметр отверстия (см.рис.3.I3). При таком размещении сечение элемента $f_{нт}$ определяется с учетом ослабления его отверстиями, расположенными только в одном сечении поперек усилия (не по зигзагу)

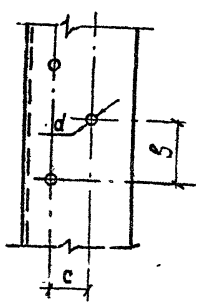


Рис. 3.I3

3.92. Образование отверстий в стальных конструкциях опор ВЛ и ОРУ должно производиться сверлением или продавливанием на меньший диаметр с последующей рассверловкой до проектного диаметра. Образование отверстий продавливанием на полный диаметр допускается в элементах толщиной не выше I2 мм для сталей класса С 38/23 и I0мм для сталей классов С 44/29,С 46/33 и С 52/40. При

проектном расстоянии от оси отверстия до края элемента вдоль усилия менее I.5 диаметра образование отверстий должно производиться только сверлением.

3.93. Длина обреза (расстояние от центра отверстия до края элемента вдоль усилия) в элементах, имеющих в кольцах по одному отверстию, не должна иметь отклонений, превышающих ±I,5 мм. Минимальная длина обреза с учетом минусового допуска должна быть не менее 1,25 диаметра отверстия.
В элементах, работающих только на растяжение, длина обреза в одноболтовых соединениях должна приниматься не менее 2 d .

3.94. В соединениях на болтах нормальной и грубой точности, работающих на срезывающие усилия, диаметр отверстий должен назначаться на I мм больше номинального диаметра болтов.
Допуск на диаметр отверстия не должен превышать +0,6мм. Указанные требования оговариваются в проекте.

3.95. Допуски в соединениях на болтах повышенной точности принимаются в соответствии с требованиями главы СНиП II-I8-75.

3.96. В соединениях, где болты работают на срез, применение болтов, имеющих по длине ненарезанной части участки с различным диаметром, не допускается.

3.97. Головки и гайки болтов должны плотно соприкасаться с плоскостями элементов конструкций и шайб. Под гайки постоянных болтов должны обязательно ставиться круглые шайбы по ГОСТ II37I-68^{X}. При этом резьба болта должна находиться вне отверстия соединяемых элементов. В каждом болте со стороны гайки должно оставаться не менее одной нитки резьбы с полным профилем.
Закрепление гаек от самоотвинчивания должно осуществляться в соответствии с указанием рабочих чертежей постановкой пружинных шайб или контргаек.

3.98. Раскосы, прикрепляемые к поясу болтами в одном узле, должны располагаться, как правило, с двух сторон полки поясного уголка.

3.99. В болтовых стыках поясных уголков для обеспечения равномерной работы рекомендуется число болтов в стыке назначать четным и распределять болты поровну между полками уголка.
Количество болтов при однорядном и шахматном расположении и количество поперечных рядов болтов при двухрядном расположении болтов с каждой стороны стыка вдоль усилия по одной полке следует назначать не более 5.

3.100. Болтовые соединения, воспринимающие сдвигающие усилия, в специальных переходных опорах ВЛ рекомендуется выполнять на болтах повышенной точности по ГОСТ 7805-70^{X} или 7808-70^{X}.
Применение болтов нормальной точности для таких опор допускается только для крепления малонагруженных и нерабочих элементов.

Оцинковка конструкций методом горячего цинкования

3.101. Конструкции, предназначенные под горячее цинкование, должны удовлетворять требованиям ТУ 34.006-73.

3.102. Максимальная длина элемента не должна превышать 12,3 м. Поперечное сечение должно вписываться в квадрат с размером сторон 1,3 м. Элементы должны иметь технологические отверстия на концах для удобства погружения их в цинковальную ванну.

3.103. Сварка элементов между собой должна выполняться только "встык". Сварные детали, имеющие пазухи и "карманы", должны иметь технологические отверстия для стока травильного раствора и цинка.

3.104. Для толщин элементов до 10 мм включительно сварные швы могут выполняться без разделки кромок, но с обязательной подваркой корня шва.

3.105. Детали, имеющие резьбу, должны быть съемными. При проектировании следует учитывать, что по технологии цинкования резьба не оцинковывается, (имеются ввиду детали, которые по своим размерам не могут помещаться в центрифугу, предназначенную для сбороса лишнего цинка с резьбы; например: анкерные тяги опор с оттяжками и т.п.) поэтому следует предусматривать защиту нарезной части таких деталей от коррозии покрытием защитной смазкой.

3.106. Герметически закрытые конструкции, для которых нет необходимости в цинковании внутренних поверхностей, должны иметь, на время цинкования, открывающиеся отверстия (заглушки) для выпуска паров, образующихся при цинковании.

3.107. Во избежание проникновения травильного раствора сварные швы должны быть плотными, не иметь кратеров, шлаковых включений и др. дефектов. Начало и конец сварного шва должны иметь плавный переход к основному металлу.

Приложение таблица 1

Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов.

стали класса прочности С 38/23

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.999	0.998	0.996	0.995	0.994	0.993	0.992	0.990	0.989
10	0.988	0.986	0.984	0.983	0.981	0.979	0.977	0.976	0.974	0.972
20	0.970	0.967	0.964	0.962	0.959	0.956	0.954	0.951	0.948	0.946
30	0.943	0.939	0.935	0.931	0.927	0.924	0.920	0.916	0.912	0.908
40	0.905	0.901	0.897	0.893	0.889	0.886	0.882	0.878	0.874	0.870
50	0.867	0.862	0.857	0.852	0.848	0.843	0.838	0.833	0.829	0.824
60	0.820	0.815	0.810	0.805	0.800	0.795	0.790	0.785	0.780	0.775
70	0.770	0.764	0.759	0.753	0.748	0.742	0.737	0.731	0.726	0.720
80	0.715	0.709	0.703	0.697	0.691	0.685	0.679	0.673	0.667	0.661
90	0.656	0.648	0.640	0.633	0.626	0.618	0.611	0.604	0.597	0.589
100	0.582	0.575	0.568	0.561	0.554	0.547	0.540	0.533	0.526	0.519
110	0.512	0.506	0.499	0.493	0.486	0.480	0.474	0.467	0.461	0.454
120	0.448	0.443	0.438	0.433	0.428	0.422	0.417	0.412	0.407	0.402
130	0.397	0.392	0.387	0.382	0.377	0.372	0.368	0.363	0.359	0.353
140	0.348	0.344	0.339	0.335	0.331	0.326	0.322	0.318	0.314	0.309
150	0.305	0.301	0.298	0.294	0.291	0.287	0.284	0.280	0.277	0.273
160	0.270	0.267	0.264	0.261	0.258	0.255	0.252	0.249	0.246	0.243
170	0.240	0.238	0.235	0.233	0.230	0.228	0.226	0.223	0.221	0.218
180	0.216	0.214	0.212	0.210	0.208	0.206	0.204	0.202	0.200	0.198
190	0.196	0.194	0.192	0.190	0.188	0.185	0.183	0.181	0.179	0.177
200	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.168	0.166	0.165	0.163	0.162
210	0.160	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.152	0.150	0.149	0.147
220	0.146									

стали класса прочности С 44/29.

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.999	0.997	0.996	0.995	0.994	0.992	0.991	0.990	0.988
10	0.987	0.985	0.983	0.981	0.979	0.977	0.975	0.974	0.972	0.970
20	0.968	0.965	0.961	0.958	0.955	0.952	0.948	0.945	0.942	0.938
30	0.935	0.931	0.926	0.922	0.918	0.914	0.909	0.905	0.901	0.896
40	0.892	0.887	0.882	0.877	0.872	0.868	0.863	0.858	0.853	0.848
50	0.843	0.838	0.833	0.828	0.823	0.818	0.812	0.807	0.802	0.797
60	0.792	0.786	0.780	0.773	0.767	0.761	0.755	0.749	0.742	0.736
70	0.730	0.723	0.716	0.709	0.702	0.695	0.688	0.681	0.674	0.667
80	0.660	0.653	0.646	0.640	0.633	0.626	0.619	0.612	0.606	0.599
90	0.592	0.584	0.577	0.569	0.561	0.554	0.546	0.538	0.530	0.523
100	0.515	0.508	0.500	0.493	0.485	0.478	0.470	0.463	0.455	0.448
110	0.440	0.434	0.429	0.423	0.417	0.412	0.406	0.400	0.394	0.389
120	0.383	0.378	0.372	0.367	0.362	0.357	0.351	0.346	0.341	0.335
130	0.330	0.326	0.321	0.317	0.312	0.308	0.303	0.299	0.294	0.290
140	0.285	0.282	0.278	0.275	0.271	0.268	0.264	0.261	0.257	0.254
150	0.250	0.247	0.244	0.241	0.238	0.235	0.232	0.229	0.226	0.223
160	0.220	0.218	0.215	0.213	0.210	0.208	0.205	0.203	0.200	0.198
170	0.195	0.193	0.191	0.189	0.187	0.185	0.183	0.181	0.179	0.177
180	0.175	0.173	0.171	0.170	0.168	0.167	0.165	0.163	0.161	0.160
190	0.158	0.156	0.155	0.153	0.152	0.150	0.148	0.147	0.145	0.144
200	0.142	0.141	0.140	0.139	0.137	0.136	0.135	0.134	0.132	0.131
210	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.123	0.122	0.121	0.120
220	0.119									

3534тк-72-89

Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов.

стали класса прочности С 46/33.

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,000	0.999	0.997	0.996	0.994	0.993	0.992	0.990	0.989	0.987
10	0.986	0.984	0.982	0.980	0.978	0.976	0.973	0.971	0.969	0.967
20	0.965	0.962	0.958	0.955	0.952	0.949	0.945	0.942	0.939	0.935
30	0.932	0.928	0.923	0.919	0.914	0.910	0.906	0.901	0.897	0.892
40	0.888	0.883	0.878	0.873	0.868	0.863	0.857	0.852	0.847	0.842
50	0.837	0.831	0.826	0.820	0.814	0.809	0.803	0.797	0.791	0.786
60	0.780	0.773	0.766	0.759	0.752	0.745	0.738	0.731	0.724	0.717
70	0.710	0.703	0.695	0.688	0.681	0.673	0.666	0.659	0.652	0.644
80	0.637	0.630	0.622	0.615	0.607	0.600	0.593	0.585	0.578	0.570
90	0.563	0.555	0.547	0.539	0.531	0.522	0.514	0.506	0.498	0.490
100	0.482	0.475	0.468	0.461	0.454	0.447	0.441	0.434	0.427	0.420
110	0.413	0.407	0.400	0.394	0.388	0.381	0.375	0.369	0.363	0.356
120	0.350	0.345	0.340	0.336	0.331	0.326	0.321	0.316	0.312	0.307
130	0.302	0.297	0.293	0.288	0.284	0.279	0.274	0.270	0.265	0.261
140	0.256	0.253	0.250	0.247	0.244	0.241	0.238	0.235	0.232	0.229
150	0.226	0.223	0.221	0.218	0.216	0.213	0.210	0.208	0.205	0.203
160	0.200	0.198	0.196	0.193	0.191	0.189	0.187	0.185	0.182	0.180
170	0.178	0.176	0.174	0.173	0.171	0.169	0.167	0.165	0.164	0.162
180	0.160	0.158	0.156	0.155	0.153	0.151	0.149	0.147	0.146	0.144
190			0.139	0.138	0.137	0.135	0.134	0.133	0.132	0.130
200	0.129	0.128	0.127	0.126	0.125	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119
210	0.118	0.117	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110	0.109
220	0.108									

стали класса прочности С 52/40

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.999	0.997	0.996	0.994	0.993	0.991	0.990	0.988	0.987
10	0.985	0.983	0.980	0.978	0.976	0.974	0.971	0.969	0.967	0.964
20	0.962	0.959	0.955	0.952	0.948	0.945	0.941	0.938	0.934	0.931
30	0.927	0.921	0.917	0.912	0.907	0.903	0.898	0.893	0.888	0.883
40	0.878	0.873	0.867	0.862	0.856	0.851	0.845	0.840	0.834	0.829
50	0.823	0.817	0.811	0.805	0.799	0.794	0.788	0.782	0.776	0.770
60	0.764	0.756	0.748	0.739	0.731	0.723	0.715	0.707	0.698	0.690
70	0.682	0.674	0.666	0.659	0.651	0.643	0.635	0.627	0.620	0.612
80	0.604	0.596	0.588	0.580	0.572	0.564	0.555	0.547	0.539	0.531
90	0.523	0.514	0.506	0.497	0.489	0.480	0.472	0.463	0.454	0.446
100	0.437	0.430	0.424	0.417	0.410	0.404	0.397	0.390	0.383	0.377
110	0.370	0.365	0.359	0.354	0.348	0.343	0.337	0.332	0.326	0.321
120	0.315	0.310	0.305	0.300	0.295	0.290	0.284	0.279	0.274	0.269
130	0.264	0.260	0.257	0.253	0.250	0.246	0.242	0.239	0.235	0.232
140	0.228	0.225	0.222	0.219	0.216	0.213	0.210	0.207	0.204	0.201
150	0.198	0.196	0.194	0.191	0.189	0.187	0.185	0.183	0.180	0.178
160	0.176	0.174	0.172	0.170	0.168	0.166	0.164	0.162	0.160	0.158
170	0.156	0.154	0.153	0.151	0.149	0.148	0.146	0.144	0.142	0.141
180	0.139	0.138	0.136	0.135	0.134	0.133	0.131	0.130	0.129	0.127
190	0.126	0.125	0.123	0.122	0.120	0.119	0.118	0.116	0.115	0.113
200	0.112	0.111	0.110	0.109	0.108	0.107	0.106	0.105	0.104	0.103
210	0.102	0.101	0.100	0.099	0.098	0.097	0.096	0.096	0.095	0.094
220	0.093									

gost.e-ecolog.ru