Строительные нормы и правила

Алюминиевые конструкции

Технические нормы проектирования

КМК 2.03.06 - 97

Издание официальное

Государственный комитет Республики Узбекистан
по архитектуре и строительству
Ташкент 1997

УДК 69 + 624.014.7.04] (083.74)

КМК 2.03.06-97 Алюминиевые конструкции. Технические нормы проектирования / Госкомархитектстрой РУз-Ташкент,1997-61 стр.

Разработаны: Акционерным Обществом Открытого Типа Узпулаткурилмалойиха (Узпроектстальконструкция)
В.Р. Дорогинин - руководитель темы, при участии Г.В. Анапольского, Л.Б. Объедковой, И.Ю. Печкориной.

Переводчик: О.Ю. Жумаев (АООТ Узпроектстальконструкция)

Внесены: Акционерным Обществом Открытого Типа Узпулаткурилмалойиха (Узпроектстальконструкция)

Редакторы: Т.Н. Набиев, Ф.Ф. Бакирханов, Д.А. Ахмедов (Госкомархитектстрой Республики Узбекистан)
М.С. Нестеркин (АООТ Узпроектстальконструкция)

Подготовлены к утверждению: Управлением проектных работ Госкомархитектстроя РУз (Д.А. Ахмедов)

С введением в действие КМК 2.03.06 - 97 "Алюминиевые конструкции. Технические нормы проектирования" утрачивает силу СНиП 2.03.06-85 " Алюминиевые конструкции" на территории Республики Узбекистан.

Настоящий документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения Госкомархитектстроя Республики Узбекистан.

Государственный комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству /Госкомархитектстрой/	Строительные нормы и правила	КМК 2.03.06-97
	Алюминиевые конструкции. Технические нормы проектирования	Взамен СНиП 2.03.06-85

Настоящие нормы устанавливают общие принципиальные положения, которые должны быть удовлетворены при проектировании алюминиевых конструкций зданий и сооружений различного назначения, а также при их ремонте и усилении.

Основные положения настоящих норм должны обеспечить общий уровень надежности алюминиевых конструкций в соответствии с их расчетом по методу предельных состояний.

Способы обеспечения основных положений по надежности, безопасности, долговечности и экономичности алюминиевых конструкций и соответствующие требования, разрабатываемые в соответствии с настоящими нормами и правилами, должны быть изложены в нормативно-технических документах относящихся к различным видам зданий и сооружений, а также конкретным типам алюминиевых конструкций, элементов и соединений.

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1.1 Настоящие нормы устанавливают основополагающие требования к алюминиевым строительным конструкциям по обеспечению их надежности, безопасности, долговечности и экономичности.

Положения настоящих норм являются обязательными и распространяются на алюминиевые конструкции новых и реконструируемых зданий и сооружений различного назначения (далее - конструкции).

Положения нормативных документов обязательного и рекомендательного характера, разрабатываемые в развитие и с целью уточнения, детализации и дополнения для различных видов конструкций не должны нарушать основные положения настоящих норм.

1.2 При проектировании алюминиевых конструкций, находящихся в особых условиях эксплуатации, конструкций уникальных зданий и сооружений, а также специальных видов конструкций, необходимо соблюдать дополнительные требования, отражающие особенности работы этих конструкций, и требования соответствующих нормативных документов.

1.3 Требования настоящих норм должны применяться при проектировании конструкций, эксплуатируемых при температуре не выше плюс 100°С и не ниже минус 40°С.

1.4 Нормы не распространяются на проектирование алюминиевых конструкций мостов и конструкций зданий и сооружений, подвергающихся многократному воздействию нагрузок (усталостная прочность), а также непосредственному воздействию подвижных или динамических нагрузок или воздействию температуры выше плюс 100°С.

1.5 Алюминиевые конструкции следует применять при строительстве и реконструкции зданий и сооружений для ограждающих и несущих конструкций при надлежащем технико-экономическом обосновании в следующих случаях:

Внесены АООТ "Узпулаткурилмалойиха" /"Узпроектстальконструкция"/ Госкомархитектстроя Республики Узбекистан	Утверждены приказом Государственного Комитета Республики Узбекистан по архитектуре и строительству 6 ноября 1996г № 104	Срок введения в действие 1 января 1997 г.

Издание официальное

при необходимости значительного снижения массы ограждающих и несущих конструкций зданий и сооружений;

с целью обеспечения повышенных архитектурных требований к конструкциям зданий или сооружений;

при необходимости для обеспечения повышенной коррозионной стойкости, сохранение прочностных характеристик при низких температурах, отсутствия искрообразования и магнитных свойств

2.НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

2.1 В настоящих технических нормах использованы ссылки на документы, приведенные в приложении 1.

2.2 Основные буквенные обозначения величин приведены в приложении 8.

3 ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ, ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ЭКОНОМИЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ

3.1 При проектировании алюминиевых конструкций следует соблюдать нормы, обеспечивающие нормальную эксплуатацию зданий и сооружений в течение срока службы, установленного заказчиком, охрану окружающей среды и выполнения других особых условий, устанавливаемых в техническом задании на проектирование. Для этого необходимо:

обеспечить уровень надежности конструкций путем выполнения требований к выбору материалов, конструированию и расчетам в соответствии с положениями метода предельных состояний;

выбирать оптимальные в технико-экономическом отношении схемы конструкций, сечения элементов и марки деформируемых сплавов, технического алюминия и литейных сплавов;

применять экономичные профили;

применять прогрессивные конструкции (типовые и стандартные); конструкции, совмещающие ограждающие и несущие функции, тонколистовые и комбинированные; пространственные системы из стандартных элементов и др.;

предусматривать высокую технологичность изготовления и монтажа;

применять конструкции, обеспечивающие наименьшую трудоемкость их изготовления, транспортировки и монтажа;

применять, как правило, поточное их изготовление;

предусматривать применение заводских и монтажных соединений прогрессивных типов (автоматической и полуавтоматической сварки, фланцевых, на болтах, в том числе высокопрочных, на вкладышах);

предусматривать возможность осмотра, обследования и оценки технического состояния конструкций, а также выполнения профилактических и ремонтных работ по реконструкции.

3.2 Нагрузки и воздействия, которые могут действовать в конкретных условиях с учетом их одновременного действия и наиболее неблагоприятных сочетаний, должны применяться согласно положениям соответствующих норм. При этом необходимо различать конструкции, подверженные воздействию статических либо динамических (ударных, вибрационных, подвижных или других повторных) нагрузок.

3.3 Элементы алюминиевых конструкций следует проектировать минимального сечения и с учетом возможности их изготовления из прессованных профилей, удовлетворяющих требованиям настоящих норм, соответствующих стандартов и технических условий на прессованные профили и трубы.

3.4 В технической документации должны быть приведены сведения о материалах для конструкций и соединений, дополнительные требования к ним, особые требования по технологии изготовления, которые должны обеспечивать проектную надежность конструкций.

3.5 При разработке конкретных нормативно-технических документов (например, сводов правил) необходимо учитывать, что нормы и правила проектирования, изготовления, возведения, приемки работ, эксплуатации и реконструкции, а также требования к существующим методам контроля представляют собой единый комплекс и должны быть увязаны друг с другом.

3.6 Проектирование, изготовление, возведение, обследование, ремонт

и реконструкция алюминиевых строительных конструкций должны осуществляться только организациями или физическими лицами, имеющими лицензию, выданную на соответствующий вид деятельности в установленном порядке.

3.7 Конструкции следует рассчитывать по методу предельных состояний в соответствии с положениями ГОСТ 27751.

4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ И СОЕДИНЕНИЙ И ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

4.1 Выбор марки и состояния (вида обработки) алюминия для конструкций следует производить в зависимости от:

характера и интенсивности нагрузки, напряженного состояния элементов конструкций, расчетных температур требуемых механических свойств алюминия

химического состава алюминия и стойкости его к коррозии;

технологичности изготовления полуфабрикатов;

технологии изготовления и монтажа конструкций;

архитектурных требований.

4.2 Марки алюминия, применяемого в строительных конструкциях, должны соответствовать установленным нормам, стандартам и техническим условиям для существующих конструкций. Это должно быть гарантировано документами о качестве.

При отсутствии документов о качестве или недостаточности имеющихся в них сведений оценка свойств материала конструкций и соединений должна производиться в соответствии с регламентированными требованиями.

Допускается применять алюминий других марок при соответствующем технико-экономическом обосновании и после проверки его в опытных конструкциях.

4.3 Применение марок алюминия определяется назначением конструкций зданий и сооружений и разделяются на четыре группы:

I - ограждающие конструкции (оконные и дверные заполнения, подвесные потолки, перегородки и витражи);

II - ограждающие конструкции (кровельные и стеновые панели и др.);

III - несущие сварные конструкции (фермы, колонны, прогоны покрытий, пространственные решетчатые покрытия, покрытия больших пролетов, сборно-разборные конструкции каркасов зданий, блоки покрытия и др.);

IV - клепаные конструкции, относящиеся к группе III, а также элементы конструкций, не имеющие сварных соединений.

4.4 Алюминиевые полуфабрикаты для строительных конструкции применяются, как правило, в виде листов, лент, плит, прутков, профилей и труб.

Допускается применять другие виды алюминиевых полуфабрикатов при условии согласования их с заводами-поставщиками.

4.5 Допускается применять отливки из алюминиевых литейных сплавов, а также отливки из материалов, указанных в нормах проектирования стальных конструкции.

4.6 Для соединений алюминиевых конструкции должны применяться, как правило, электродуговая сварка в среде инертного газа алюминиевые заклепки, болты и винты в соответствии государственными стандартами и техническими условиями.

4.7 В качестве защитного инертного газа следует применять аргон марки А по ГОСТ 10157.

4.8 Для обеспечения потребительских свойств алюминиевых конструкций выбор марок алюминия и материалов для соединений должен осуществляться с учетом уровня ответственности зданий и сооружений, возможных последствий достижения предельных состояний, характера и уровня силовых и иных воздействий, расчетной температуры при воздействии и эксплуатации, технологии изготовления и экономичности.

4.9 Для алюминиевых конструкций следует применять алюминий марок и состояний, указанных соответственно в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Термически не упрочняемый алюминий

марка и состояние алюминия	ГОСТ, ТУ
АД1М	ГОСТ 21631 ГОСТ 13726
АМцМ	ГОСТ 21631 ГОСТ 13726
АМг2М	ГОСТ 21631 ГОСТ 13726 ГОСТ 18475
АМг2Н2	ГОСТ 21631 ГОСТ 13726
АД31Т	ГОСТ 8617 ГОСТ 18482 ГОСТ 22233
АД31Т1	ГОСТ 8617 ГОСТ 22233
АД31Т4	ГОСТ 8617 ГОСТ 22233
АД31Т5	ГОСТ 8617 ГОСТ 22233
1951	ГОСТ 8617 ГОСТ 22233 ГОСТ 18482
1915Т	ГОСТ 8617 ГОСТ 18482 ГОСТ 22233
1925	ГОСТ 8617 ГОСТ 18482 ГОСТ 22233
1935Т	ТУ 1 - 9 - 346

Примечание. Допускается применять алюминий других марок и состояний (не указанных в табл. 4.1) при технико - экономическом обосновании и после проверки его в опытных конструкциях. Расчетные сопротивления в этом случае следует определять по табл. 2 приложения 2

Таблица 4.2

Обозначение состояния	Состояние алюминия
М	Отожженный (мягкий)
Н2	Полунагартованный
Н	Нагартованный
Т	Закаленный и естественно состаренный
Т1	Закаленный и искусственно состаренный
Т4	Не полностью закаленный и естественно состаренный
Т5	Не полностью закаленный и искусственно состаренный

Примечания. 1. Полунагартовка и нагартовка применяются преимущественно для термически не упрочняемого алюминия.

2. Закалка и старение применяются для термически упрочняемого алюминия

4.10 Физические характеристики алюминия для строительных конструкций следует принимать по табл. 1 обязательного приложения 2.

4.11 Расчетные значения сопротивления (расчетные сопротивления) для расчетных температур от минус 40°С до плюс 65°С определяются согласно табл. 2,3,4 обязательного приложения 2.

4.12 При расчете конструкции следует учитывать коэффициенты влияния изменения температуры γ_t, и коэффициенты условий работы элементов алюминиевых конструкций γ_c, приведенные соответственно в табл. 5 и 6 приложения 2, а также коэффициенты надежности по назначению γ_n, согласно Правилам учета степени ответственности зданий и сооружений при проектировании конструкций.

За расчетную температуру наружного воздуха принимается средняя температура наиболее холодной пятидневки согласно требованиям соответствующих норм.

4.13 При дуговых способах сварки алюминиевых конструкций в качестве электродного и присадочного металлов следует применять сварочную проволоку по ГОСТ 7871 из алюминия марок СвА1, СвАМг3 и 1557, а также по соответствующим техническим условиям. Условия применения электродной и присадочной проволоки приведены в табл. 7-10 приложения 2.

При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкции допускается применять прогрессивные сварочные материалы (проволоку, защитные газы). При этом расчетные сопротивления металла сварных соединений должны быть не ниже приведенных в табл. 8, 9 приложения 2.

4.14 Марки алюминия для заклепок, устанавливаемых в холодном состоянии, и для болтов следует принимать по табл. 4.3.

Стальные болты следует применять согласно требованиям норм проектирования стальных конструкций.

Таблица 4.3

Марка и состояние алюминия	ГОСТ
Для заклепок: АД1Н; АМг2Н; АМг5пМ; АВТ	ГОСТ 10299
Для болтов: АМг5п АВТ1	ГОСТ 14838 ГОСТ 21488

4.15 Расчетные сопротивления сварных, заклепочных и болтовых соединений для расчетных температур наружного воздуха от плюс 50 до минус 40°С приведены в табл. 8-12 приложения 2.

Для соединений на заклепках и болтах расчетные сопротивления растяжению и срезу следует принимать по материалу заклепок или болтов, смятию - по марке алюминия соединяемых элементов конструкций.

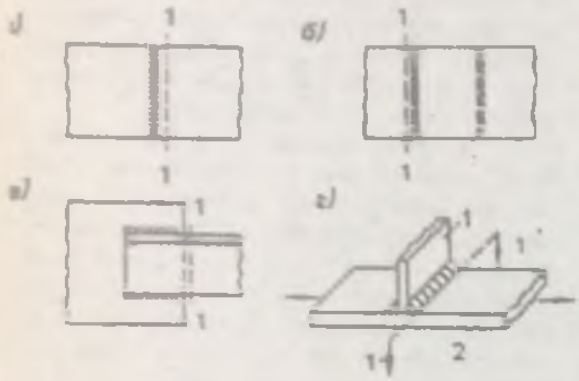
4.16 Расчетное сопротивление R_{wz} алюминия в околошовной зоне (черт 4.1, сечение 1-1) при аргонодуговой сварке следует принимать по табл. 7.

4.17 Расчетное сопротивление R_w сварных соединений, выполненных аргонодуговой сваркой с физическим контролем качества швов (рентгено- или гамма-графированием, ультразвуковой дефектоскопией и др.) следует принимать по табл. 8, 9 приложения 2.

Для сварных стыковых растянутых швов, качество которых не контролируется физическими методами, значения расчетных сопротивлений по табл. 8 и 9 следует умножать на коэффициент 0,8.

4.18 При расчете на прочность сварных конструкций (см. черт. 4.1) с элементами без стыка, к которым прикрепляются сваркой поперечные элементы (черт. 4.1, *г*), следует учитывать местное ослабление этих элементов (в зоне термического влия-

ния) путем снижения значения расчетного сопротивления R алюминия до значения R_s, принимаемого по табл. 8, 9 приложения 2.



Черт. 4.1. Схемы сварных соединений конструкций

а - встык; *б* - внахлестку лобовыми швами; *в* - внахлестку фланговыми швами; *г* - схема прикрепления поперечного элемента к элементу, не имеющему стыка. *1* - поперечный элемент; *2* - элемент без стыка; *1-1* - расчетное сечение

4.19 В алюминиевых тонколистовых конструкциях допускается применять контактную и аргонодуговую точечную сварку плавящимся электродом. Расчетная несущая способность на срез сварных точек, выполненных контактной и аргонодуговой точечной сваркой плавящимся электродом, указана в табл. 13 приложения 2.

4.20 Расчетные сопротивления срезу сварных соединений внахлестку $R_{w\,cn}$ выполненных контактной роликовой сваркой, для алюминия марок АД1М, АМцМ, АМг2М следует принимать равными расчетным сопротивлениям R.

Для алюминия марки АМг2Н2 $R_{w\,cn} = (0.9 - 0.1t)R$ (где t - толщина более тонкого из свариваемых элементов, мм).

4.21 Расчетные сопротивления срезу R_n соединений на заклепках, поставленных в холодном состоянии в сверленые и рассверленные отверстия, приведены в табл. 10 приложения 2.

4.22 Расчетные сопротивления растяжению R_{bt} и срезу R_{bs} соединений на болтах, поставленных в сверленые и рассверленные отверстия, приведены в табл. 10 приложения 2.

4.23 Расчетные сопротивления смятию элементов конструкций для соединений на заклепках R_{cr} и болтах R_{br}, поставленных в сверленые или рассверленные отверстия, следует принимать по табл. 12 приложения 2.

4.24 Расчетные сопротивления алюминия и литейного алюминия, соединений сварных, на заклепках и болтах для конструкций, эксплуатируемых при расчетных температурах выше 50°С, необходимо умножать на коэффициент γ_t, указанный в табл. 5 приложения 2.

4.25 При расчете элементов и соединений алюминиевых конструкций следует читывать коэффициенты условий работы γ_c, принимаемые по табл. 6 приложения 2.

5. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСЕВЫЕ СИЛЫ И ИЗГИБ

ЦЕНТРАЛЬНО-РАСТЯНУТЫЕ И ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

5.1 Расчет на прочность элементов, подверженных центральному растяжению или сжатию силой N, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{A_n} \le R\gamma_c . \qquad (5.1)$$

5.2 Расчет на устоичивость сплошностенчатых элементов, подверженных центральному сжатию силой N, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{\varphi A} \le R\gamma_c . \qquad (5.2)$$

Численные значения коэффициента φ приведены в табл. 2 и 3 обязательного приложения 3.

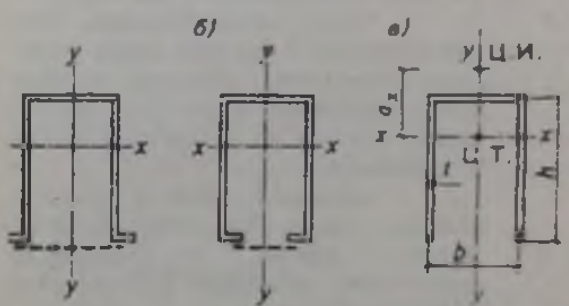
5.3 При расчете стержней из одиночных уголков на центральное сжатие радиус инерции сечения i следует принимать

а) минимальным, если стержни прикреплены только по концам;

б) относительно оси, параллельной одной из полок уголка при наличии промежуточного закрепления (распорок, шпренгелей, связей и т.п.), предопределяющего направление выпучивания уголка в плоскости, параллельной второй полке.

5.4 Сжатые элементы со сплошными стенками открытого П-образного сечения (черт. 5.2), не усиленные и усиленные отбортовками или утолщениями (бульбами), при $\lambda_x < 3\lambda_y$

(где λ_x и λ_y - расчетные гибкости элементов плоскостях, перпендикулярных осям $x-x$ и $y-y$) следует укреплять планками или решеткой, при этом должны быть выполнены требования пп. 5.5 и 5.7.



Черт. 5.1 П-образные сечения элементов
а, б - укрепленные планками или решетками;
в - отбортовое

При отсутствии планок или решеток такие элементы помимо расчета по формуле (5.2) следует проверять на устойчивость при изгибно-крутильной форме потери устойчивости по формуле

$$\frac{N}{c\varphi_1 A} \le R\gamma_c, \qquad (5.3)$$

где c - коэффициент, определяемый по формуле

$$c = \frac{2}{1+\delta+\sqrt{(1-\delta)^2+\frac{16\alpha^2}{\mu}}}, \qquad (5.4)$$

где $\psi = \frac{4\rho}{\mu}$;

$$\rho = \frac{I_x + I_y}{Ah^2} + \alpha^2;$$

$\alpha = \frac{a_x}{h}$ - относительное расстояние между центром тяжести и центром изгиба;

$$\mu = \frac{8I_\omega}{I_1 h^2} + 0{,}156\frac{I_1}{Ah^2}\lambda_1^2$$

I_ω - секториальный момент инерции сечения;

$$I_1 = \frac{1}{3}\sum b_i t_i^3;$$

b_i, t_i - соответственно ширина и толщина прямоугольных элементов, составляющих сечение.

Для сечения, приведенного на черт. 5.1*в*, значения $\frac{I_\omega}{I_1 h^2}$, $\frac{I_1}{Ah^2}$ и α следует определять по формулам:

$$\frac{I_\omega}{I_1 h^2} = \frac{3\beta + 2\beta^2}{(6+\beta)^2},$$

$$\frac{I_1}{Ah^2} = \frac{1}{3}\left(\frac{t}{h}\right)^2, \qquad (5.5)$$

$$\alpha = \frac{4(3+\beta)}{(2-\beta)(6+\beta)},$$

где $\beta = \frac{b}{h}$

При наличии утолщений круглого сечения (бульб) момент инерции при кручении I_1 следует увеличить на $\frac{n\pi D^4}{32}$, где n - число бульб в сечении; D - диаметр бульб.

5.5 Для составных сжатых стержней, ветви которых соединены планками или решетками, коэффициент φ относительно свободной оси (перпендикулярной плоскости планок или решеток) следует определять по табл. 2 обязательного приложения 3 с заменой λ на λ_{ef}. Значения λ_{ef} необходимо определять по формулам табл. 5.1.

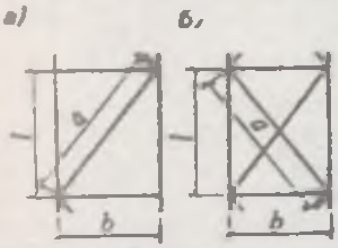
В составных стержнях с решетками помимо расчета на устойчивость стержня в целом следует производить расчет на устойчивость отдельных ветвей на участках между узлами.

Гибкость отдельных ветвей λ_1 и λ_2 на участке между планками должна быть не более 30.

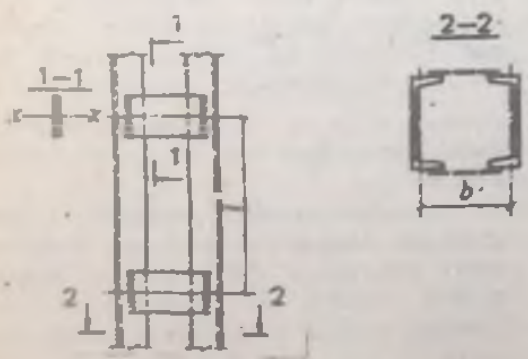
В составных стержнях с расчетными гибкостями отдельных ветвей между узлами не должна превышать приведенную гибкость λ_{ef} стержня в целом.

5.6 Расчет составных элементов из уголков, швеллеров и т. п., соединенных вплотную или через прокладки, следует выполнять как сплошностенчатых при условии, что наибольшие расстояния между их соединениями (прокладками, шайбами и т. п.) не превышают: 30 i - для сжатых элементов; 80 i - для растянутых элементов.

Здесь радиус инерции i уголка или швеллера следует принимать для тавровых или двутавровых сечений относительно оси, параллельной плоскости расположения прокладок, а для крестовых сечений - минимальным. При этом в пределах длины сжатого элемента следует ставить не менее двух прокладок.



Черт. 5.2 Схема решетки
а - раскосной, *б* - крестовой с распорками



Черт. 5.3 Составные стержни на планках

5.7 Расчет соединительных элементов (планок, решеток) сквозных составных стержней сквозного сечения следует выполнять на условную поперечную силу Q_{fic}, принимаемую постоянной по всей длине стержня и определяемую по формуле

$$Q_{fic} = 4.2 \cdot 10^{-2} \left(4000 - \frac{E}{R}\right) \frac{N}{\varphi} \quad (5.15)$$

где N - продольное усилие в составном стержне;

φ - коэффициент продольного изгиба, принимаемый для составного сквозного стержня в плоскости соединительных элементов.

Условную поперечную силу Q_{fic} следует распределять при наличии:

только соединительных планок (решеток) - поровну между планками (решетками), лежащими в плоскостях, перпендикулярных оси, относительно которой производится проверка устойчивости;

сплошного листа и соединительных планок (решеток) - пополам между листом и планками (решетками), лежащими в плоскостях, параллельных листу.

При расчете равносторонних трехгранных составных стержней условную поперечную силу Q_{fic}, приходящуюся на систему соединительных элементов, расположенных в одной плоскости, следует принимать равной 0,8 Q_{fic}.

5.8 Расчет соединительных планок и их прикреплений (см. черт. 5.3) следует выполнять как расчет элементов безраскосных ферм по формулам:

на силу F, срезающую планку:

$$F = \frac{Q_s l}{b} \quad ; \quad (5.16)$$

на момент M_l, изгибающий планку в ее плоскости:

$$M_l = \frac{Q_s l}{2} \quad ; \quad (5.17)$$

где Q_s - условная поперечная сила, приходящаяся на планку одной грани;

l - расстояние между центрами планок;

b - расстояние между осями ветвей.

5.9 Расчет соединительных решеток следует выполнять как расчет решеток ферм. При расчете перекрестных раскосов крестовой решетки с распорками (см. черт. 5.2, *б*) необходи-

мо учитывать дополнительное усилие N_{sd}, возникающее в каждом раскосе от обжатия поясов и определяемое по формуле

$$N_{sd} = \alpha N \frac{A_d}{A_1} \qquad (5.18)$$

где N - усилие в одной ветви стержня;

A_d - площадь сечения одного раскоса;

A_1 - площадь сечения одной ветви;

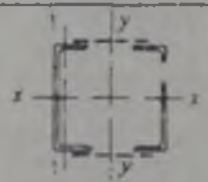
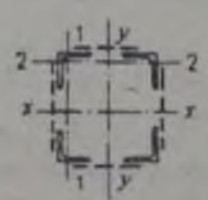
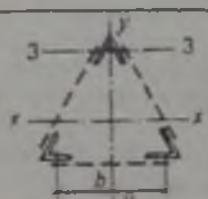
α -коэффициент, определяемый по формуле

$$\alpha = \frac{al^2}{a^3 + 2b^3} \qquad (5.19)$$

a, l, b - размеры, приведенные на черт. 5.2, *б*.

5.10 Расчет стержней, предназначенных для уменьшения расчетной длины сжатых элементов, следует выполнять на усилия, равные условной поперечной силе в основном сжатом элементе, определяемой по формуле (5.15).

Таблица 5.1

Тип сечения	Схема сечения	Приведенные гибкости λ_{ef} составных стержней сквозного сечения		
		с планками при		с решетками
		$l_0/(i_1 b) < 5$	$l_0/(i_1 b) \geq 5$	
1		$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 0{,}82\lambda_1^2/(1+n)}$ (5.6)	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2}$ (5.9)	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \sqrt{\alpha_1 \frac{A}{A_{d1}}}}$ (5.12)
2		$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 0{,}82\left[\lambda_1^2/(1+n_1) + \lambda_2^2/(1+n_2)\right]}$ (5.7)	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2}$ (5.10)	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \sqrt{\left(\frac{\alpha_1}{A_{d1}} + \frac{\alpha_2}{A_{d2}}\right)}}$ (5.13)
3		$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 0{,}82\lambda_1^2/(1+n_1)}$ (5.8)	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + 1{,}16\lambda_1^2}$ (5.11)	$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda_y^2 + \sqrt{\alpha_1 \frac{2A}{A_{d1}}}}$ (5.14)

Обозначения, принятые в табл. 5.1

α_1, α_2 - коэффициенты, определяемые по формуле

$$\alpha = 10\frac{J}{b^2 l},$$

a, b, l - размеры, принимаемые по черт. 5.2,*а* и черт. 5.3;

n, n_1, n_2, n_3 - коэффициенты, определяемые соответственно по формулам

$$n = \frac{I_{b1} b}{I_b l}; \quad n_1 = \frac{I_{b1} b}{I_{b1} l}; \quad n_2 = \frac{I_{b2} b}{I_{b2} l}; \quad n_3 = \frac{I_{b3} b}{I_b l}$$

где I_{b1}, I_{b2} - моменты инерции сечения двух уголков относительно между осями соответственно 1-1, 2-2 (для сечения типа 2);

I_{b1}, I_{b2} - моменты инерции сечения ветвей относительно осей соответственно 1-1 и 3-3 (для сечений типов 1 и 3);

I_b - момент инерции сечения [illegible] относительно собственной оси [illegible]

"АКАТМ" АТМ

I_{x1}, I_{x2} - моменты инерции сечения одной из планок, перпендикулярных осям соответственно *1-1* и *2-2* (для сечения типа 2).

λ - наибольшая гибкость всего стержня;

λ_1, λ_2, λ_3 - гибкости отдельных ветвей при изгибе их в плоскостях, перпендикулярных осям соответственно *1-1*, *2-2*, *3-3* на участках между приварными планками (в свету) или центрами крайних болтов или заклепок

A - площадь сечения стержня;

A_{d1}, A_{d2} - площади сечения раскосов решеток (при крестовой решетке - двух раскосов), лежащих в плоскостях, перпендикулярных осям соответственно *1-1* и *2-2*;

A_d - площадь сечения раскоса решетки (при крестовой решетки - двух раскосов) лежащей в плоскости одной грани (для трехгранного равностороннего стержня);

ИЗГИБАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

5.11 Расчет на прочность элементов, изгибаемых в одной из главных плоскостей, следует выполнять по формулам:

$$\frac{M}{W_{n,min}} \le R\gamma_c; \qquad (5.20)$$

$$\tau = \frac{QS}{It} \le R_s\gamma_c. \qquad (5.21)$$

При наличии ослабления отверстиями для заклепок или болтов значения касательных напряжений τ в формуле (5.21) следует умножать на величину отношения

$$\frac{a}{a-d}, \qquad (5.22)$$

где a - шаг отверстий;

d - диаметр отверстия.

5.12 Для стенок балок, рассчитываемых по формуле (5.20), должны быть выполнены условия:

$$\sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}} \le R\gamma_c;$$

$$\tau_{xy} \le R_s\gamma_c; \qquad (5.23)$$

где $\sigma_x = \frac{M_x}{I_n}$ - нормальные напряжения в срединной плоскости стенки, параллельные оси балки;

σ_y - нормальные напряжения в срединной плоскости стенки, перпендикулярные оси балки, в том числе σ_{loc}, определяемое по формуле (1) обязательного приложения 4;

$\tau_{xy} = \frac{Q}{th}$ - среднее касательное напряжение, вычисляемое с учетом формулы (5.22);

t, h - соответственно толщина и высота стенки.

Напряжения σ_x и σ_y следует определять в одной и той же точке стенки балки и принимать в формуле (5.23) каждое со своим знаком.

5.13 Расчет на устойчивость балок двутаврового сечения, изгибаемых в плоскости стенки, следует выполнять по формуле

$$\frac{M}{\varphi_b W_c} \le R\gamma_c, \qquad (5.24)$$

где W_c - для сжатого пояса;

φ_b - коэффициент, определяемый по обязательному приложению 5.

При определении значения φ_b за расчетную длину балки l_{ef} следует принимать расстояния между точками закреплений сжатого пояса от поперечных смещений; при отсутствии связей $l_{ef} = l$ при отсутствии закрепления сжатого пояса на конце консоли в горизонтальной плоскости (здесь l - длина консоли); расстояние между точками закреплений сжатого пояса в горизонтальной плоскости при закреплении пояса на конце и по длине консоли.

Устойчивость балок не требуется проверять:

а) при передачи нагрузки через сплошной жесткий настил, непрерывно опирающийся на сжатый пояс балки и надежно с ним связанный (плоский и профилированный металлический настил, волнистая сталь и т. п.);

б) при отношении расчетной длины балки l_{ef} к ширине сжатого пояса b, не превышающем значений, определяемых по формулам табл. 5.2 для балок симметричного двутаврового сечения и с более развитым сжатым поясом, для которых ширина растянутого пояса составляет не менее 0,75 ширины сжатого пояса.

5.14 Расчет на прочность элементов, изгибаемых в двух главных плоскостях, следует выполнять по формуле

$$\frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \le R\gamma_c, \qquad (5.28)$$

где x, y - координаты рассматриваемой точки сечения относительно его главных осей .

В балках, рассчитываемых по формуле (5.28) , значения напряжений в стенке балки следует проверять по фор-

мулам (5.21) и (5.23) в двух главных плоскостях изгиба.

При выполнении требований п. 5.13а балки, изгибаемые в двух плоскостях, на устойчивость не проверяются.

Таблица 5.2

Место приложения нагрузки	Наибольшее значение $\frac{l_{ef}}{b}$, при которых не требуется расчет на устойчивость прокатных и сварных балок (при $1 \le \frac{h}{b} < 6$ и $15 \le \frac{b}{t} \le 35$)
К верхнему поясу	$0,45\left[0,35 + 0,0032\frac{h}{t} + \left(0,76 - 0,02\frac{b}{t}\right)\frac{b}{h}\right]\sqrt{\frac{E}{R}}$ (5.25)
К нижнему поясу	$0,45\left[0,57 + 0,0032\frac{b}{t} + \left(0,92 - 0,02\frac{b}{t}\right)\frac{b}{h}\right]\sqrt{\frac{E}{R}}$ (5.26)
Независимо от уровня приложения нагрузки при расчете участка балки между связями или при чистом изгибе	$0,45\left[0,41 + 0,0032\frac{b}{t} + \left(0,73 - 0,016\frac{b}{t}\right)\frac{b}{h}\right]\sqrt{\frac{E}{R}}$ (5.27)

Обозначения принятые в табл. 5.2:

b, t - соответственно ширина и толщина сжатого пояса;

h - расстояние (высота) между осями поясных листов.

Примечание. Для балок с поясными соединениями на заклепках и высокопрочных болтах значения $\frac{l_{ef}}{b}$, получаемые при расчете по формулам табл. 5.2, следует умножать на коэффициент 1,2.

ЭЛЕМЕНТЫ, ПОДВЕРЖЕННЫЕ ДЕЙСТВИЮ ОСЕВОЙ СИЛЫ С ИЗГИБОМ

5.15 Расчет на прочность сплошностенчатых внецентренно сжатых, сжато-изгибаемых, внецентренно растянутых и растянуто-изгибаемых элементов следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{I_{xn}} y \pm \frac{M_y}{I_{yn}} x \le R\gamma_c , \qquad (5.29)$$

где x, y - координаты рассматриваемой точки сечения относительно его главных осей.

В составных сквозных стержнях каждую ветвь необходимо проверять по формуле (5.29) при соответствующих значениях N, M_x, M_y, вычисленных для данной ветви.

5.16 Расчет на устойчивость внецентренно-сжатых и сжато-изгибаемых элементов следует выполнять как в плоскости действия момента (плоская форма потери устойчивости), так и из плоскости действия момента (изгибно-крутильная форма потери устойчивости).

Расчет на устойчивость внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов постоянного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{\varphi_e A} \le R\gamma_c \qquad (5.30)$$

В формуле (5.30) коэффициент φ_e следует определять:

а) для сплошностенчатых стержней - по табл. 1 обязательного приложения 5 в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{\frac{R}{E}}$ и приведенного относительного эксцентриситета m_{ef}, определяемого по формуле

$$m_{ef} = \eta m, \qquad (5.31)$$

где η - коэффициент влияния формы сечения, определяемый по табл. 3 обязательно-

го приложения 5;

$m = \frac{eA}{W_c}$ - относительный эксцентриситет (здесь e - эксцентриситет, W_c - момент сопротивления сечения для наиболее сжатого волокна).

Расчет на устойчивость выполнять не требуется для сплошностенчатых стержней при $m_{ef} > 10$;

б) для сквозных стержней с решетками или планками, расположенными в плоскостях, параллельных плоскости изгиба, - по табл. 2 обязательного приложения 5 в зависимости от условной приведенной гибкости, определяемой по формуле

$$\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef}\sqrt{\frac{R}{E}}, \qquad (5.32)$$

и относительного эксцентриситета m, определяемого по формулам

$$\left.\begin{aligned} m_x &= e_x\frac{A\,y_f}{I_x} \\ \text{или } m_y &= e_y\frac{A\,x_f}{I_y}, \end{aligned}\right\} \qquad (5.33)$$

где x_f, y_f - расстояния соответственно от оси y - y или x - x до оси наиболее сжатой ветви, но не менее расстояния до оси стенки ветви.

5.17 Расчетные значения изгибающих моментов M, необходимые для вычисления эксцентриситета $e = \frac{M}{N}$, следует принимать равными:

а) для стержней постоянного сечения рамных систем - наибольшему моменту в пределах длины стержней;

б) для ступенчатых стержней - наибольшему моменту на длине участка постоянного сечения;

в) для консолей - моменту в заделке, но не менее момента в сечении, отстоящем на треть длины стержня от заделки;

г) для сжатых стержней с шарнирно-опертыми концами и сечениями, имеющими одну ось симметрии, совпадающую с плоскостью изгиба, - моменту, определяемому по формулам табл. 5.3.

Для сжатых стержней с шарнирно-опертыми концами и сечениями, имеющими две оси симметрии, приведенные относительные эксцентриситеты m_e следует определять по табл.4 обязательного приложения 5.

5.18 Расчет на устойчивость внецентренно сжатых элементов постоянного сечения из плоскости действия момента при их изгибе в плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$), совпадающей с плоскостью симметрии, следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{c\varphi_y A} \le R\gamma_c, \qquad (5.34)$$

где c - коэффициент, вычисляемый по формуле (5.35).

5.19 Коэффициент c следует определять по формуле

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha m_x}, \qquad (5.35)$$

где α, β - коэффициенты , принимаемые по табл. 5.4.

При определении m_x за расчетный момент M_x следует принимать:

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

б) для консоли - момент в заделке (но не менее момента в сечении, отстоящем от заделки на треть длины стержня).

При гибкости $\lambda_y > \lambda_c = 3{,}8\sqrt{\frac{E}{R}}$ коэффициент c не должен превышать для стержней:

замкнутого сечения - единицы;

двутаврового сечения с двумя осями симметрии - значений, определяемых по формуле

$$c_{max} = \frac{2}{\left[1+\delta+\sqrt{(1-\delta)^2+\frac{16}{\mu}\left(\frac{M_x}{Nh}\right)^2}\right]} \qquad (5.36)$$

где $\delta = \frac{4\rho}{\mu}$; $\rho = \frac{I_x + I_y}{Ah^2}$;

h - расстояние между осями поясов;

$\mu = 2 + 0{,}156\frac{I_t}{Ah^2}\lambda_y^2$; $I_t = 0{,}433\Sigma b_i t_i^3$

Таблица 5.3

Относительный эксцентриситет соответствующий M_{max}	Расчетные значения M при условной гибкости стержня	
	$\bar{\lambda} < 4$	$\bar{\lambda} \geq 4$
$m \leq 3$	$M = M_2 = M_{max} - \frac{\lambda}{4}(M_{max} - M_1)$	$M = M_1$
$3 < m \leq 10$	$M = M_2 + \frac{m-3}{7} \times (M_{max} - M_2)$	$M = M_1 + \frac{m-3}{7} \times (M_{max} - M_1)$

Обозначения приняты в табл. 5.3:

M_{max} - наибольший изгибающий момент в пределах длины стержня;

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

m - относительный эксцентриситет, определяемый по формуле

$$m = \frac{M_{max} A}{N W_c}$$

Примечание. Во всех случаях следует принимать $M \geq 0,5M_{max}$

5.20 Внецентренно-сжатые элементы, изгибаемые в плоскости наименьшей жесткости ($I_y < I_x$ и $e_y \neq 0$) при $\lambda_x > \lambda_y$, следует рассчитывать по формуле (5.30), а также проверять на устойчивость из плоскости действия момента как центрально-сжатые стержни по формуле

$$\frac{N}{\varphi_y A} \leq R\gamma_c \qquad (5.37)$$

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

5.21 В сквозных внецентренно сжатых стержнях с решетками, расположенными в плоскостях, параллельных плоскости изгиба, кроме расчета на устойчивость стержня в целом по формуле (5.30) следует проверить отдельные ветви как центрально-сжатые стержни по формуле (5.2).

Продольную силу в каждой ветви следует определять с учетом дополнительного усилия от момента, величину этого усилия при параллельных ветвях (поясах) необходимо определять по формуле $N_M = \frac{M}{b}$, где b - расстояние между осями ветвей (поясов).

Отдельные ветви внецентренно сжатых сквозных элементов с планками следует проверять на устойчивость как внецентренно сжатые элементы с учетом усилий от момента и местного изгиба ветви от фактической или условной поперечной силы (как в поясах безраскосной фермы).

5.22 Расчет на устойчивость сплошностенчатых стержней, подверженных сжатию и изгибу в двух главных плоскостях, при совпадении плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$) с плоскостью симметрии следует выполнять по формуле

$$\frac{N}{\varphi_{ex} A} \leq R\gamma_c \qquad (5.38)$$

где $\varphi_{ex} = \varphi_{ey}\sqrt{c}$,

здесь φ_{ey} - следует определять согласно требованиям п.5.16;

c - необходимо определять согласно требованиям п.5.19.

Если $m_{ef} < 2m_1$, то кроме расчета по формуле (5.38) следует произвести дополнительную проверку по формулам (5.30) и (5.34), принимая $e_x = 0$.

Таблица 5.4

Тип сечения	Значения коэффициентов		
	α при $1 \le m_x \le 5$	β при	
		$\lambda_y \le \lambda_c$	$\lambda_y > \lambda_c$
Открытое	$0{,}75 + 0{,}05m_x$	1	$\sqrt{\frac{\varphi_c}{\varphi_y}}$
	$1 - (0{,}25 - 0{,}05m_x)\frac{I_2}{I_1}$	1	$1 - \left(1 - \sqrt{\frac{\varphi_c}{\varphi_y}}\right)\left(2\frac{I_2}{I_1} - 1\right)$; при $\frac{I_2}{I_1} < 0{,}5$ $\beta = 1$
Замкнутое или сквозное с решетками (или планками)	$0{,}55 + 0{,}05m_x$	1	$\sqrt{\frac{\varphi_c}{\varphi_y}}$

Обозначения, принятые в табл. 5.4

I_1, I_2 - моменты инерции соответственно большей и меньшей полок относительно оси симметрии сечения y - y;

φ_c - значение φ_y при $\lambda_y = \lambda_c = 3{,}8\sqrt{\frac{E}{R}}$.

Примечания: 1. Значения коэффициентов α и β для сквозных стержней с решетками (или планками) следует принимать только при наличии не менее двух промежуточных диафрагм по длине стержня. В противном случае следует принимать коэффициенты, установленные для стержней открытого двутаврового сечения.
2. При значениях $m_x < 1$ или $m_x > 5$ следует принимать соответственно $m_x = 1$ или $m_x = 5$.

Значения относительных эксцентриситетов следует определять по формулам

$$m_x = e_x \frac{A}{W_{cx}} \quad \text{и} \quad m_y = e_y \frac{A}{W_{cy}}, \tag{5.39}$$

где W_{cx}, W_{cy} - моменты сопротивления сечения для наиболее сжатого волокна относительно осей соответственно x - x и y - y.

Если $\lambda_x > \lambda_y$, то кроме расчета по формуле (5.38) следует произвести дополнительную проверку по формуле (5.30), принимая $e_y = 0$. В случае несовпадения плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$) с плоскостью симметрии расчетное значение m_x следует увеличить на 25%.

5.23 Расчет на устойчивость сквозных стержней из двух сплошностенчатых ветвей, симметричных относительно оси y - y (черт.5.4), с решетками в двух параллельных плоскостях, подверженных сжатию и изгибу в обеих главных плоскостях, следует выполнять:

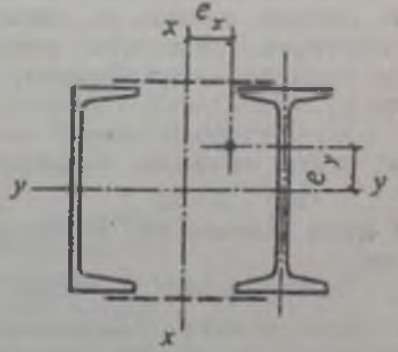
для стержней в целом - в плоскости, параллельной плоскостям решеток, согласно требованиям п.5.16, принимая $e_y = 0$ (см. черт.5.4);

для отдельных ветвей - как внецентренно сжатых элементов по формулам (5.30) и (5.34), при этом продольную силу в каждой ветви следует

определять с учетом усилия от момента M_x (см. п.5.21), а момент M_y - распределять между ветвями пропорционально их жесткостям;

если момент M_y действует в плоскости одной из ветвей, то следует считать его полностью передающимся на эту ветвь.

При проверке отдельной ветви по формуле (5.34) гибкость ее определяется по максимальному расстоянию между узлами решетки.



Черт. 5.4. Сечение составного элемента из двух сплошностенчатых ветвей с решетками в двух параллельных плоскостях

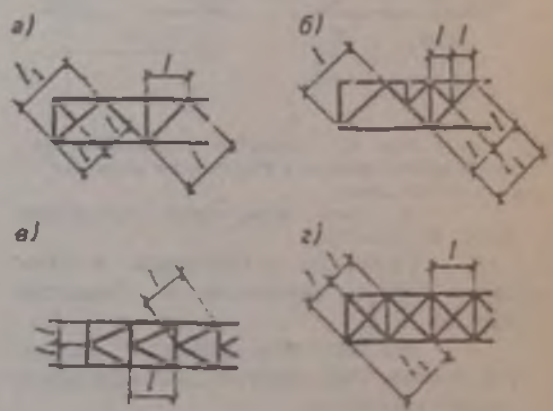
5.24 Расчет соединительных элементов (планок или решеток) сквозных внецентренно сжатых стержней следует выполнять согласно требованиям пп. 5.7- 5.9 на наибольшую поперечную силу - фактическую Q или условную Q_{fic}.

В случае, когда фактическая поперечная сила больше условной, соединять планками ветви сквозных внецентренно сжатых элементов, как правило, не следует.

6.РАСЧЕТНАЯ ДЛИНА И ПРЕДЕЛЬНАЯ ГИБКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ АЛЮМИНИЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

РАСЧЕТНАЯ ДЛИНА

6.1 Расчетную длину l_{ef} элементов плоских ферм и связей, за исключением элементов перекрестной решетки ферм (черт.6.1,г), следует принимать по табл.6.1



Черт.6.1. Схемы решеток ферм для определения расчетной длины элементов
а - треугольной с раскосом в крайней панели; б - треугольной со шпренгелем; в - полураскосной; г - перекрестной

Таблица 6.1

Направление продольного изгиба	Расчетная длина l_{ef}		
	поясов	опорных раскосов и стоек	прочих элементов решетки
В плоскости фермы	l	l	$0,8l$
В направлении перпендикулярном плоскости фермы (из плоскости фермы)	l_1	l_1	l_1

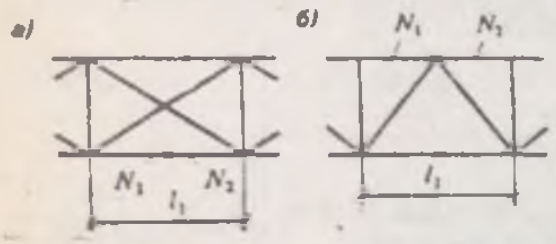
Обозначения, принятые в табл.6.1 и на черт.6.1

l - геометрическая длина элемента (расстояние между центрами узлов) в плоскости фермы;

l_1 - расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы специальными связями или жесткими плитами покрытий, приваренными к поясу сварными швами или болтами, и т.п.

6.2 Расчетную длину l_{ef} элемента, по длине l_1 которого действуют сжимающие усилия N_1 и N_2 ($N_1 > N_2$), из плоскости фермы (черт.6.2) следует вычислять по формуле

$$l_{ef} = l_1\left(0.75 + 0.25\frac{N_2}{N_1}\right) \qquad (6.1)$$



Черт. 6.2. Схемы для определения расчетной длины элемента с различными усилиями N_1 и N_2 (по его длине):

а - схема связей между фермами (вид сверху); *б* - схема фермы

Расчет на устойчивость в этом случае следует выполнять на большую силу N_1.

6.3 Расчетную длину l_{ef} элементов перекрестной решетки (см. черт. 6.1, *г*) следует принимать:

в плоскости фермы - равной расстоянию от центра узла фермы до точки их пересечения (l_{ef}=l);

из плоскости фермы: для сжатых элементов - по табл. 6.2; для растянутых элементов - равное полной геометрической длине элемента ($l_{ef} = l_1$).

6.4 Радиусы инерции i сечений элементов перекрестной решетки из одиночных уголков следует принимать:

при расчетной длине элемента, равной l (где l - расстояние между ближайшими узлами), - минимальными ($i = i_{min}$);

в остальных случаях - относительно оси уголка, перпендикулярной или параллельной плоскости фермы ($i = i_x$ или $i = i_y$ - в зависимости от направления продольного изгиба).

6.5 Расчетную длину l_{ef} и радиусы инерции сечений i элементов пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков следует принимать по табл. 6.3.

6.6 Расчетную длину l_{ef} колонн (стоек) следует определять по формуле

$$l_{ef} = \mu l,$$

где l - длина колонны или ее отдельного участка.

Коэффициенты расчетной длины μ колонн (стоек) постоянного сечения в зависимости от условий закрепления их концов и вида нагрузки следует принимать по табл. 6.7. Применение алюминия в колоннах допускается в сборно-разборных конструкциях или при наличии агрессивной среды.

Таблица 6.2

Конструкция узла пересечения элементов решетки:	Расчетная длина l_{ef} из плоскости фермы при поддерживающем элементе		
	растянутом	неработающем	сжатом
Оба элемента не прерываются	l	$0,7l_1$	l_1
Поддерживающий элемент прерывается и перекрывается фасонкой	$0,7l_1$	l_1	$1,4l_1$

Обозначения, принятые в табл. 6.2 и на черт. 6.1, г

l - расстояние от центра узла фермы до пересечения элементов

l_1 - полная геометрическая длина элемента

Таблица 6.3

Конструкция	Расчетная длина l_{ef} и радиус инерции сечения i				
	поясов		решетки		
	l_{ef}	i	l_{ef}		i
			раскоса	стойки	
С узлами, совмещенными в смежных гранях (черт. 6.3, *а*, *б*)	l_m	i_{min}	$\mu_s l_s$	$0,8l_s$	i_{min}
С узлами, не совмещенными в смежных гранях (черт. 6.3, *в*, *г*)	$\mu_m l_m$	i_x или i_y	$\mu_s l_s$	--	i_{min}

Обозначения принятые в табл. 6.3

l_m - длина панели пояса фермы (при несовмещенных узлах принимается равной расстоянию между узлами одной грани, см. черт. 6.3, *в*, *г*);

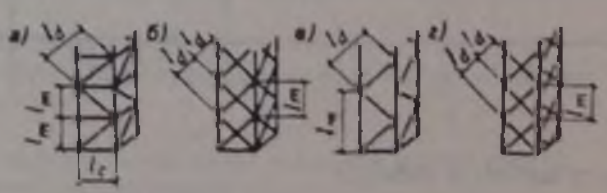
μ_m - коэффициент расчетной длины пояса (при прикреплении раскосов к поясу сварными швами или двумя болтами или заклепками и более, расположенными вдоль раскоса, следует определять по табл. 6.4, при прикреплении раскосов к поясу одним болтом следует принимать μ_m= 1,14);

i_{min} - минимальный радиус инерции сечения (пояса или решетки);

l_s, l_c - см. черт. 6.3;

i_x, i_y - радиусы инерции поперечного сечения уголка относительно осей *x* и *y*, параллельных полкам;

μ_s - коэффициент расчетной длины раскоса при прикреплении его к поясу сварными швами или двумя болтами или заклепками и более, расположенными вдоль раскоса, следует определять по табл. 6.5, при прикреплении раскосов к поясу одним болтом или одной заклепкой - по табл. 6.6.



Черт. 6.3. Схемы пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков

а - схема с совмещенными в смежных гранях узлами (треугольная решетка с распорами); *б* - то же (перекрестная решетка); *в* - схема с несовмещенными в смежных гранях узлами (треугольная решетка); *г* - то же (перекрестная решетка)

Таблица 6.4

n	10	5	2,5	1,25	1
μ_m	1,13	1,08	1,03	1,00	0,98

Обозначения, принятые в табл. 6.4:

$$n = \frac{i_{m,min} l_d}{i_{d,min} l_m},$$

где $I_{m,min}$, $I_{d,min}$ - минимальные моменты инерции сечения соответственно пояса и раскоса фермы;

Примечание. Для промежуточных значений n коэффициент μ_m следует определять линейной интерполяцией.

Таблица 6.5

n	Значения μ_m при $\frac{l_d}{i_{min}}$							
	60	80	100	120	140	160	180	200
≤ 2	0,89	0,81	0,77	0,74	0,72	0,70	0,65	0,61
≥ 6	0,86	0,78	0,74	0,71	0,69	0,66	0,62	0,59

Обозначения, принятые в табл. 6.5:
n - см. табл. 6.4;
l_d - см. черт. 6.3;
i_{min} - минимальный радиус инерции сечения раскоса.

Примечание. Для промежуточных значений n и отношения $\frac{l_d}{i_{min}}$ коэффициент μ_m следует определять линейной интерполяцией.

Таблица 6.6

$\frac{l_d}{i_{min}}$	60	80	100	≥ 120
μ_m	0,89	0,81	0,77	0,74

Обозначения те же, что в табл. 6.5.

Примечание. Для промежуточных значений отношения $\frac{l_d}{i_{m,n}}$ коэффициент μ_m следует определять линейной интерполяцией.

Таблица 6.7

Схема закрепления колонн (стоек) и нагрузка	μ	Схема закрепления колонн (стоек) и нагрузка	μ	Схема закрепления колонн (стоек) и нагрузка	μ	Схема закрепления колонн (стоек) и нагрузка	μ
	2		0,7		1		0,725
	1		0.5		2		1.12

6.7 Коэффициенты расчетной длины μ, колонн постоянного сечения одноэтажных рам (в плоскости рамы) при жестком креплении ригелей к колоннам и при нагружении верхних узлов следует определять по формулам при закреплении колонн в фундаментах:

шарнирном

$$\mu = 2\sqrt{1 + \frac{0.38}{n}}, \qquad (6.2)$$

жестком

$$\mu = \sqrt{\frac{n + 0,56}{n + 0.14}}. \qquad (6.3)$$

В формулах (6.2) и (6.3):

$$n = \frac{l_c}{l_c}\left(\frac{I_{r1}}{l_{r1}} + \frac{I_{r2}}{l_{r2}}\right),$$

где I_c, l_c - соответственно момент инерции сечения и длина проверяемой колонны;

I_{r1}, I_{r2} - соответственно моменты инерции сечений и длины ригелей, примыкающих к этой колонне.

При шарнирном креплении ригелей к колонне в формуле (6.3) следует принимать $n = 0$.

Таблица 6.8

Элементы конструкций	Предельная гибкость сжатых элементов
Пояса, опорные раскосы и стойки ферм, передающие опорные реакции	180
Прочие элементы ферм	220
Колонны второстепенные (стойки фахверка, фонарей и т.п.), элементы решетки колонн	220
Связи	250
Стержни, служащие для уменьшения расчетной длины сжатых стержней, и другие ненагруженные элементы	250
Элементы ограждающих конструкций:	
симметрично нагруженные	200
несимметрично нагруженные (крайние и угловые стойки витражей и т.д.)	170

Примечание. Приведенные в табл. 6.8 данные относятся к элементам, симметричным относительно действия сил. При сечениях, несимметричных относительно действия сил, предельную гибкость надлежит уменьшить на 30%.

6.8 Расчетную длину колонн рам в направлении вдоль здания (из плоскости рамы) следует принимать равной расстоянию между точками, закрепленными от смещения из плоскости рамы (опорами колонн подкрановых балок и подстропильных ферм, узлами крепления связей и ригелей и т.п.). Расчетную длину допускается определять на основе расчетной схемы, учитывающей фактические условия концов колонн.

ПРЕДЕЛЬНАЯ ГИБКОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ

6.9 Гибкость сжатых элементов не должна превышать значений, приведенных в табл. 6.8.

6.10 Гибкость растянутых элементов не должна превышать значений, приведенных в табл. 6.9.

Таблица 6.9

Элементы конструкций	Предельная гибкость растянутых элементов
Пояса и опорные раскосы ферм	300
Прочие элементы ферм	300
Связи (кроме элементов, подвергающихся предварительному натяжению)	300

Примечания: 1. Гибкость растянутых элементов проверяется только в вертикальной плоскости.
2. При проверке гибкости растянутых стержней перекрестной решетки из одиночных уголков радиус инерции принимается относительно оси, параллельной полке уголка.
3. Стержни перекрестной решетки в месте пересечения должны быть скреплены между собой.
4. Для растянутых раскосов стропильных ферм с незначительными усилиями, в которых при неблагоприятном расположении нагрузки может изменяться знак усилия, предельная гибкость принимается как для сжатых элементов, при этом соединительные прокладки должны устанавливаться не реже чем через 40i.

7. ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ СТЕНОК И ПОЯСНЫХ ЛИСТОВ ИЗГИБАЕМЫХ И СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

СТЕНКИ БАЛОК

7.1 Стенки балок для обеспечения их устойчивости следует укреплять двусторонними ребрами:

поперечными основными, поставленными на всю высоту стенки;

поперечными основными и продольными;

поперечными основными и промежуточными, расположенными в сжатой зоне стенки, короткими - только в клепаных балках.

7.2 Расчет на устойчивость стенок балок следует выполнять с учетом всех компонентов напряженного состояния: σ, τ и σ_{loc}. Напряжения σ, τ и σ_{loc} следует вычислять в предположении упругой работы материала по сечению брутто без учета коэффициента φ_b.

Сжимающие (краевое) напряжение σ у расчетной границы стенки (со знаком плюс) и среднее касательное напряжение τ следует вычислять по формулам:

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y, \qquad (7.1)$$

$$\tau = \frac{Q}{th}, \qquad (7.2)$$

где h - полная высота стенки;

M, Q - средние значения соответственно момента и поперечной силы в пределах отсека; если длина отсека больше его расчетной высоты, то M и Q следует вычислять для более напряженного участка длиной, равной высоте отсека; если в пределах отсека момент или поперечная сила меняют знак, то их средние значения следует вычислять на участке отсека с одним знаком.

Местное напряжение σ_{loc} в стенке под сосредоточенной нагрузкой следует определять согласно требованиям обязательного приложения 4.

При проверке устойчивости прямоугольных отсеков стенки, заключенных между поясами и соседними поперечными основными ребрами жесткости, расчетными размерами пластинки являются:

a - расстояние между осями поперечных ребер;

h_{ef} - расчетная высота стенки, равная: в балках с приклепанными соедини-

стоянию между ближайшими к оси балки краями поясных уголков; в клепаных балках - расстоянию между ближайшими к оси балки рисками поясных уголков; в сварных балках - полной высоте стенки; в прессованных профилях - высоте в свету между полками.

t - толщина стенки.

7.3 Устойчивость стенок балок не требуется проверять, если условная гибкость стенки $\bar{\lambda}_w = \frac{h_{ef}}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$ не превышает предельных значений:

$75\left(1 - 0{,}5\frac{R}{E}\right)\sqrt{\frac{R}{E}}$ - для сварных или прессованных балок;

$115\left(1 - 1{,}23\frac{R}{E}\right)\sqrt{\frac{R}{E}}$ - для балок клепаных, на болтах и высокопрочных болтах.

При наличии местных напряжений в стенках балок указанные предельные значения $\bar{\lambda}_w$ следует умножать на коэффициент 0,7.

Стенки балок следует укреплять поперечными ребрами жесткости (см. п.7.6) при $\bar{\lambda}_w > 2{,}5$.

7.4 В балках с местной нагрузкой по верхнему поясу устойчивость стенки следует проверять в соответствии с указаниями обязательного приложения 4.

7.5 Расчет на устойчивость стенок балок симметричного сечения, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости, при отсутствии местного напряжения ($\sigma_{loc} = 0$) следует выполнять по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \le \upsilon\gamma_c, \qquad (7.3)$$

где $\sigma_{cr} = 30\frac{R}{\bar{\lambda}_d^2}$; (7.4)

$\tau_{cr} = 10{,}3\left(1 + \frac{0{,}76}{\mu^2}\right)\frac{Rs}{\bar{\lambda}_d^2}$; (7.5)

$\upsilon = 1 - \frac{1{,}1\left(\frac{\sigma_l}{R} - 0{,}7\right)^2}{1 + 5{,}07\frac{R}{E}}$ (7.6)

(при $\frac{\sigma_l}{R} \le 0{,}7$ следует принимать $\upsilon = 1$. Значения $\frac{\sigma_l}{R} > 1$ не допускаются); γ_c следует принимать по табл. 6 прилож. 2.

В формулах (7.3) - (7.6):

μ - отношение большей стороны пластинки к меньшей;

$\bar{\lambda}_d = \frac{d}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$ - условная гибкость пластинки высотой d (здесь d - меньшая из сторон h_{ef} или a пластинки);

$\sigma_l = \sqrt{\frac{4}{9}\sigma^2 + 3\tau^2}$. (7.7)

В стенке балки симметричного сечения (при отсутствии местного напряжения), укрепленной кроме поперечных основных ребер одним продольным ребром, расположенным на расстоянии h_l от расчетной (сжатой) границы отсека, обе пластинки, на которые это ребро разделяет отсек, следует рассчитывать отдельно:

а) пластинку, расположенную между сжатым поясом и продольным ребром, - по формуле

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr,l}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr,l}}\right)^2 \le \upsilon\gamma_c, \qquad (7.8)$$

где

$\sigma_{cr,l} = \frac{4{,}76}{1 - \frac{h_l}{h_{ef}}}\frac{R}{\bar{\lambda}_l^2}$ (7.9)

(здесь $\bar{\lambda}_l = \frac{h_l}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$ - условная гибкость пластинки высотой h_l).

τ_{cr} следует определять по формуле (7.5) с подстановкой размеров проверяемой пластинки.

υ следует определять по формуле (7.6), принимая при этом

$\sigma_l = \sqrt{\left(1 - \frac{h_l}{h_{ef}}\right)^2\sigma^2 + 3(0{,}9\tau)^2}$;

γ_c следует принимать по табл. 6 приложения 2;

б) пластинку, расположенную между растянутым поясом и продольным

стром - по формуле

$$\sqrt{\frac{\sigma^2\left(1-2\frac{h_1}{h_{ef}}\right)^2}{\sigma_{cr2}^2}+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr2}}\right)^2}\le\gamma_c, \quad (7.10)$$

где

$$\sigma_{cr2}=\frac{5.43}{\left(0,5-\frac{h_1}{h_{ef}}\right)^2}\frac{R}{\lambda_w^2}; \quad (7.11)$$

τ_{cr2} следует определять по формуле (7.5) с подстановкой размеров проверяемой пластинки;

γ_c следует принимать по табл. 6 приложения 2.

7.6 В стенке, укрепленной только поперечными ребрами жесткости, ширина их выступающей части b_h должна быть для парного симметричного ребра не менее $\frac{h_{ef}}{30}+40$ мм; толщина ребра t_s должна быть не менее $\frac{b_h}{12}$; расстояние между ребрами не должно превышать $2h_{ef}$.

7.7 При укреплении стенки поперечными ребрами и одним продольным ребром необходимые моменты инерции I_s сечений ребер жесткости следует определять:

для поперечных ребер - по формуле

$$I_s = 3h_{ef}t^3 \quad (7.12)$$

для продольного ребра - по формулам табл. 7.1 с учетом их предельных значений.

При расположении продольного и поперечных ребер с одной стороны стенки моменты инерции сечений каждого из них вычисляются относительно оси, совпадающей с гранью стенки, ближайшей к ребру.

Таблица 7.1

$\frac{a}{h_{ef}}$	Необходимый момент инерции продольного ребра I_s	Предельные значения	
		минимальные $I_{s,min}$	максимальные $I_{s,max}$
0,20	$\left(2,5-0,5\frac{a}{h_{ef}}\right)\frac{a^2t^3}{h_{ef}}$	$1,5h_{ef}t^3$	$7h_{ef}t^3$
0,25	$\left(1,5-0,4\frac{a}{h_{ef}}\right)\frac{a^2t^3}{h_{ef}}$	$1,5h_{ef}t^3$	$3,5h_{ef}t^3$
0,30	$1,5h_{ef}t^3$	-	-

Примечание. При вычислении I_s для промежуточных значений $\frac{a}{h_{ef}}$ допускается линейная интерполяция.

7.8 Участок стенки балки составного сечения над опорой при укреплении его ребрами жесткости следует рассчитывать на продольный изгиб из плоскости как стойку, нагруженную опорной реакцией. В расчетное сечение этой стойки следует включать сечение ребра жесткости и полосы стенки шириной $0,5t_w\sqrt{\frac{E}{R}}$ с каждой стороны ребра. Расчетную длину стойки следует принимать равной высоте стенки.

Нижние торцы опорных ребер жесткости должны быть плотно пригнаны или приварены к нижнему поясу балки и рассчитаны на воздействие опорной реакции.

СТЕНКИ ЦЕНТРАЛЬНО-, ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ И СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

7.9 Для центрально-сжатых элементов условную гибкость стенки $\bar{\lambda}_w=\frac{h_{ef}}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$ следует принимать не более значений, определяемых по формулам табл. 7.2

При назначении сечения элемента по предельной гибкости, а также при соответствующем обосновании расчетом наибольшие значения $\bar{\lambda}_w$ следует умножать на коэффициент $\sqrt{\frac{R\varphi}{\sigma}}$ (где $\sigma = \frac{N}{A}$), но не более чем в 1,5 раза.

При этом значения $\bar{\lambda}_w$ следует принимать не более 5.3.

Таблица 7.2

Сечение элемента	Наибольшие значения $\bar{\lambda}_w$ при значениях условной гибкости стержня	
	$\bar{\lambda} \le 1$	$\bar{\lambda} \ge 5$
Двутавровое	$\frac{52}{\sqrt{\frac{E}{R}} + 507}$	3,1
Н - образное	$\frac{46}{\sqrt{\frac{E}{R}} + 507}$	3.5
Швеллерное, трубчатое прямоугольное (h_w - для большей стенки)	$\frac{42}{\sqrt{\frac{E}{R}} + 507}$	2,5
Трубчатое квадратное	$\frac{37}{\sqrt{\frac{E}{R}} + 507}$	2,25

Примечания: 1. Приведенные в табл. 7.2 данные относятся к сварным и прессованным профилям. В клепаных элементах значения $\bar{\lambda}_w$ в табл. 7.3 следует увеличивать на 5%.

2. При вычислении $\bar{\lambda}_w$ для промежуточных значений $\bar{\lambda}$ допускается линейная интерполяция между значениями $\bar{\lambda} = 1$ и $\bar{\lambda} = 5$.

7.10 Для внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов условную гибкость стенки $\bar{\lambda}_w$ следует определять в зависимости от значения

$$\alpha = \frac{\sigma - \sigma_1}{\sigma}$$

(где σ - наибольшее сжимающее напряжение у расчетной границы стенки, принимаемое со знаком "плюс" и вычисленное без учета коэффициентов φ_e, φ_{ec} или φ; σ_1 - соответствующее напряжение у противоположной расчетной границы стенки) и принимать не более значений, определяемых при:

$\alpha \le 0,5$ - по п. 7.9;

$\alpha \ge 1$ - по формуле

$$\bar{\lambda}_w \le 3.1\sqrt{\frac{R}{\sigma}(2\alpha - 1)}; \quad (7.13)$$

$0,5 < \alpha < 1$ - линейной интерполяцией между значениями, вычисленными при $\alpha = 0,5$ и $\alpha = 1$.

7.11 При укреплении стенки внецентренно сжатого или сжато-изгибаемого элемента продольным ребром жесткости с моментом инерции $I_s \ge \delta h_w^3$, расположенным посредине стенки

наиболее нагруженную часть стенки между поясом и осью ребра следует рассматривать как самостоятельную пластинку и проверять согласно требованиям п.7.10.

Продольные ребра жесткости следует включать в расчетные сечения элементов.

Если устойчивость стенки не обеспечена, то в расчет следует вводить два крайних участка стенки шириной по $0,6\sqrt{\frac{E}{R}}$, считая от границ расчетной высоты.

7.12 Стенки сплошных колонн и стоек при $\bar{\lambda}_w \geq 2,5$ следует укреплять поперечными ребрами жесткости, расположенными на расстоянии $2h_{ef}$ одно от другого; на каждом отправочном элементе должно быть не менее двух ребер. При наличии продольного ребра расстояние между поперечными ребрами допускается увеличивать в 1,5 раза.

Минимальные размеры выступающей части поперечных ребер жесткости следует принимать согласно требованиям п. 7.6.

ПОЯСНЫЕ ЛИСТЫ И ПОЛКИ ЦЕНТРАЛЬНО-, ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ, СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ И ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

7.13 Расчетную ширину свеса поясных листов (полок) b_{ef} следует принимать равной расстоянию: в прессованных, прокатных сварных и клепаных элементах без поясных листов - от грани стенки до края листа (полки); в клепаных элементах с поясными листами - от ближайшей риски заклепок до свободного края листа. При наличии вута, образующего со свесом угол не менее 30°, расчетную ширину свеса следует измерять до начала вута (в случае выкружки - принимать вписаный вут).

7.14 В центрально-, внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементах значение гибкости свеса поясного листа (полки) $\bar{\lambda}_f = \frac{b_{ef}}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$ следует принимать не более значений, указанных в табл. 7.3 в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$ и типа сечений (где b_{ef} принимается в соответствии с п.7.13; t - толщина свеса).

В случае недонапряжения элемента наибольшие значения $\bar{\lambda}_f$ табл. 7.3 следует увеличивать в $\sqrt{\frac{R\varphi_m}{\sigma}}$ раз, но не более чем в 1,5 раза, при этом значения $\bar{\lambda}_f$ необходимо принимать не более 1,3 (здесь φ_m - меньшее из значений $\varphi, \varphi_f, \varphi_{fc}, c\varphi$, использованное при проверке устойчивости стержня; $\sigma = \frac{N}{A}$).

7.15 В изгибаемых элементах наибольшую гибкость свеса листа (полки) прессованных, сварных и клепаных балок следует назначать с учетом предельных размеров свесов, приведенных в табл. 7.3 для $\bar{\lambda} \leq 1$.

Наибольшую гибкость свеса неокаймленных полок уголков в сжатых поясах клепаных балок без горизонтальных листов следует принимать по формуле

$$\bar{\lambda}_f = 0,6 + \sqrt{\frac{R}{E}} \qquad (7.14)$$

В случае недонапряжения элемента наибольшую гибкость свеса поясного листа (полки) следует увеличить в $\sqrt{\frac{R}{\sigma}}$ раз, но не более чем в 1,5 раза; здесь σ - большее из двух значений:

$$\sigma = \frac{M}{\varphi_b W} \quad \text{или} \quad \sigma = \left| \frac{M_x y}{I_{xn}} \pm \frac{M_y x}{I_{yn}} \right|$$

Таблица 7.3

Характеристика полки (поясного листа) и сечения элемента	Наибольшие значения $\bar{\lambda}_f$ при значениях условной гибкости стержня	
	$\bar{\lambda} \le 1$	$\bar{\lambda} \ge 5$
Неокаймленная двутавра и тавра	$\frac{14}{\sqrt{\frac{E}{R} + 507}}$	0,8
Неокаймленная большая неравнополочного уголка, стенка тавра и полка швеллера	$\frac{15}{\sqrt{\frac{E}{R} + 507}}$	0,8
Неокаймленная равнополочных уголков	$\frac{14}{\sqrt{\frac{E}{R} + 507}}$	0,7

Примечание. 1. При вычислении $\bar{\lambda}_f$ для промежуточных значений $\bar{\lambda}$ следует определять линейной интерполяцией между значениями при $\bar{\lambda} = 1$ и $\bar{\lambda} = 5$.

7.16 При усилении свободных свесов утолщениями (бульбами) наибольшее значение гибкости свеса $\bar{\lambda}_{f1} = \frac{b_{f1}}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$ [здесь b_{f1} - расчетная ширина свеса поясных листов или полок, измеряемая от центра утолщения до грани примыкающей стенки (полки) или до начала вута; см. п. 7.13] следует определять по формуле

$$\bar{\lambda}_{f1} = k\bar{\lambda}_f \qquad (7.15)$$

где k - коэффициент, определяемый по табл. 7.4 в зависимости от $\bar{\lambda}_f$, γ_1 и $\bar{\lambda}$;

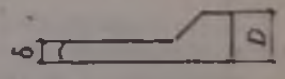
$\bar{\lambda}_f$ - наибольшее значение условной гибкости свеса при отсутствии утолщения, принимаемое по табл. 7.3.

Величина γ_1 равна:

$$\gamma_1 = \frac{D}{t},$$

где D - размер утолщения, принимаемый равным диаметру круглой бульбы; в квадратных и трапециевидных утолщениях нормального профиля

D - высота утолщения при ширине бульбы не менее $1.5D$ в трапециевидных (черт. 7.1) и не менее D - в прямоугольных утолщениях.



Черт. 7.1. Схема утолщения (бульбы)

7.17 Расчет на устойчивость замкнутых цилиндрических оболочек вращения, равномерно сжатых параллельно образующим, следует выполнять по формуле

$$\sigma_1 \le \gamma_1 \sigma_{cr1}, \qquad (7.16)$$

где σ_1 - расчетное напряжение в оболочке;

Таблица 7.4

Сечение	$\bar{\lambda}_f$	γ_1	Значения коэффициента k в формуле (7.15) при гибкости $\bar{\lambda}$ равной	
			1	5
Швеллер, двутавр	$0,35 \le \bar{\lambda}_f \le 0,60$	2,5	1,06	1,35
		3,0	1,24	1,69
		3,5	1,46	2,06
	$0,75 \le \bar{\lambda}_f \le 0,90$	2,5	1,04	1,28
		3,0	1,20	1,59
		3,5	1,40	1,94
Уголок, тавр, крестовое	$0,35 \le \bar{\lambda}_f \le 0,60$	2,5	1,06	1,17
		3,0	1,24	1,47
		3,5	1,46	1,67
	$0,75 \le \bar{\lambda}_f \le 0,90$	2,5	1,04	1,13
		3,0	1,20	1,35
		3,5	1,40	1,67

Примечание. Коэффициент k для промежуточных значений $\bar{\lambda}_f$ от 0,6 до 0,75 и гибкости $\bar{\lambda}$ от 1 до 5 определяется линейной интерполяцией.

σ_{cr1} - критическое напряжение, равное меньшему из значений ψR или

$\frac{cEt}{r}$ (здесь r - радиус срединной поверхности оболочки; t - толщина оболочки).

Значения коэффициентов ψ и c следует определять соответственно по табл. 7.5 и 7.6.

В случае внецентренного сжатия параллельно образующим или чистого изгиба в диаметральной плоскости при касательных напряжениях в месте наибольшего момента не превышающих значении $0,07E\left(\frac{t}{r}\right)^{3/2}$, напряжение σ_{cr1} следует увеличить в $\left(1,1-0,1\frac{\sigma_1}{\sigma_1}\right)$ раз,

где σ_1 - наименьшее напряжение (растягивающее напряжение считать отрицательным).

7.18 В круглых трубах, рассчитываемых как сжатые или сжато-изгибаемые стержни по разд. 5, при условии гибкости $\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{\frac{R}{E}} \ge 0,65$ должно быть выполнено условие

$$\frac{r}{t} \le \frac{280}{1+1400\frac{R}{E}}$$

Кроме этого, устойчивость стенок таких труб должна быть проверена по п. 7.17.

Расчет на устойчивость стенок бесшовных труб не требуется, если $\frac{r}{t}$ не превышает значений $1,7\sqrt{\frac{E}{R}}$ или 35.

Таблица 7.5

Значение R, МПа	Коэффициенты ψ при $\frac{t'}{t}$, равном								
	0	25	50	75	100	125	150	200	250
$R \leq 140$	1,00	0,98	0,88	0,79	0,72	0,65	0,59	0,45	0,39
$R \geq 280$	1,00	0,94	0,78	0,67	0,57	0,49	0,42	0,29	-

Примечание. Значения коэффициентов ψ при 140 МПа < R < 280 МПа и для промежуточных значений $\frac{t'}{t}$ вычисляются линейной интерполяцией

Таблица 7.6

Значение $\frac{t'}{t}$	$\leq$ 50	100	150	200	250	500
Коэффициент c	0,30	0,22	0,20	0,18	0,16	0,12

Примечание. Для промежуточных значений $\frac{t'}{t}$ коэффициенты c следует определять линейной интерполяцией

8. РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТОНКОЛИСТОВОГО АЛЮМИНИЯ

8.1 Тонколистовой алюминий (толщиной до 2 мм) следует применять в качестве элементов ограждающих и несущих конструкций:

а) плоских листов, укрепленных ребрами или специальной штамповкой;

б) плоских листов и лент, предварительно напряженных как в одном, так и в двух направлениях;

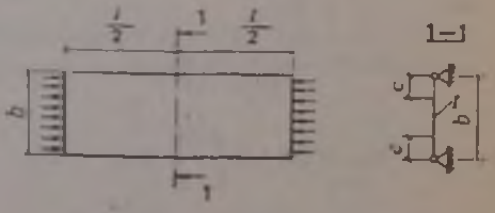
в) гофрированных листов без укреплений или со специальными укреплениями.

ЭЛЕМЕНТЫ, РАБОТАЮЩИЕ НА СЖАТИЕ И ИЗГИБ

8.2 При расчете на прочность сжатого в одном направлении плоского листа, шарнирно-опертого по контуру (черт. 8.1), в рабочую площадь включается часть листа размером $2c$, определяемым по формуле

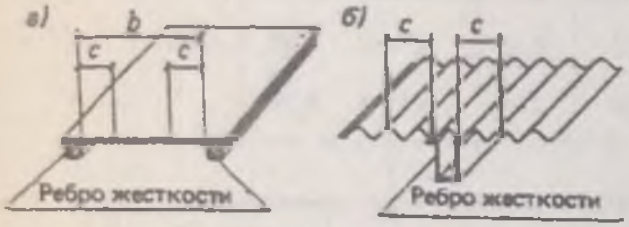
$$c = 1.161 \sqrt{\frac{E}{R}}, \qquad (8.1)$$

где t - толщина листа.



Черт. 8.1. Расчетная схема сжатого тонколистового элемента. b - полная ширина сечения, c - рабочая ширина сечения

8.3 При расчете на прочность и деформативность тонколистовых конструкций, усиленных продольными ребрами, в которых плоский лист при действии продольной и поперечной нагрузок имеет сдвигающие напряжения, в рабочую площадь ребер следует включать часть листа размером c (черт. 8.2, *а*), определяемых по формуле (8.1).



Черт. 8.2. Расчетная схема тонкодистовых конструкций, усиленных продольными ребрами
а - плоский лист; *б* - гофрированный лист

8.4 При расчете на прочность листов с волнистыми и трапециевидными гофрами, шарнирно-опертых по контуру и сжимаемых в направлении гофров, при отношении $\frac{a}{b} \geq 3$ (черт. 8.3,*а*) в рабочую площадь следует включать часть листа размером $2c$

$$c = 1{,}04\sqrt{\frac{K}{\iota dR}\left(\sqrt{D_x D_y} + D_{xy}\right)}, \qquad (8.2)$$

где $D_x = EJ_x$;

$$D_y = \frac{K}{d}\frac{Et^3}{12\left(1-\mu^2\right)};$$

$$D_{xy} = \mu D_y + \frac{d}{K}\frac{ct^3}{6};$$

$$J_x = \frac{I_{x1}}{2K},$$

здесь K, d - соответственно шаг и длина по периметру одной полуволны (черт. 8.4);

I_{x1} - момент инерции одной волны.

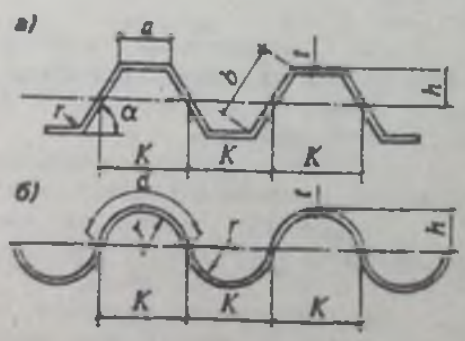
Когда отношение $\frac{a}{b} < 3$ или гофрированный лист разделяется поперечными ребрами, имеющими момент инерции I_x (см.п. 8.5), на ряд ячеек с соотношением сторон $\frac{a}{b} < 3$ (см.черт. 8.3, б), значение c следует определять по формуле

$$c = 0{,}74\sqrt{\frac{K}{\iota dR}\left(D_x\frac{b^2}{a^2} + 2D_{xy} + D_y\frac{a^2}{b^2}\right)}. \qquad (8.3)$$

В формуле (8.3) обозначения те же, что в формуле (8.2); значения a и b следует принимать по черт. 8.3.

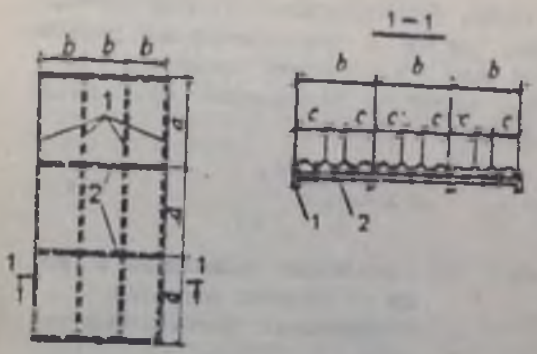


Черт. 8.3. Расчетная схема сжатого гофрированного листа
а - без поперечных ребер жесткости,
б - с поперечными ребрами жесткости



Черт. 8.4. Геометрические параметры для гофра
а - трапециевидного, *б* - волнистого

При наличии продольных ребер (черт. 8.5) в рабочую площадь следует включать площадь этих ребер и часть листа размером c в каждую сторону от ребра.



Черт. 8.5. Схема плиты из гофрированного листа с продольными и поперечными ребрами. *1* - продольные ребра, *2* - поперечные ребра

8.5 При расчете по формуле (7.1) момент инерции поперечных ребер жесткости не должен быть меньше величины

$$I_3 \geq \frac{I_1 b^4}{4a^4} \qquad (8.4)$$

Если гофрированный лист и поперечные ребра имеют различные модули упругости, то

$$I_3 \geq \frac{D_1 b^4}{4E_3 a^4}, \qquad (8.5)$$

где E_3 - модуль упругости материала ребра.

Обозначения в формулах (8.4) и (8.5) те же, что в формуле (8.2).

В случае, если значения I_3 меньше указанных в формулах (8.4) и (8.5) величин, то значение c подсчитывается по формуле (8.2). При этом значение D_1 следует принимать

$$D_1 = \frac{K}{d}\left(\frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} + \frac{EI_3}{a}\right).$$

8.6 Гофрированный лист, не имеющий усиливающих ребер, при действии поперечной нагрузки следует рассчитывать на изгиб по формулам (5.20) и (5.21) как балку.

Для листов с трапециевидным гофром размер сжатых полок, включаемых в расчетное сечение, следует определять по формуле (8.1). При этом в формулах (5.20) и (5.21) W_x и I_x следует вычислять для рабочей площади сечения.

8.7 Прогиб f свободно опертых гофрированных листов при изгибе следует определять по формуле

$$f = \alpha f_0, \qquad (8.6)$$

где α - коэффициент, учитывающий увеличение прогиба вследствие деформации поперечного сечения гофрированного листа под нагрузкой и принимаемый для волнистых листов - равным 1, для трапециевидных - по табл. 8.1, для листа с трапециевидным гофром с приклеенным жестким утеплителем (типа пенопласт) $\alpha = 1$;

f_0 - прогиб гофрированного листа, работающего как балка, при вычислении которого I_x принимается согласно п. 8.6.

Таблица 8.1

Отношение $\frac{b}{a}$	Значения α при угле наклона боковых граней гофра, град			
	45	60	75	90
≥ 2,0	1,10	1,14	1,20	1,30
1,5	1,15	1,20	1,30	1,40
1,0	1,20	1,25	1,35	1,45
0,5	1,25	1,30	1,40	1,50

Обозначения, принятые в табл. 8.1

b - размер наклонной грани;
a - размер сжатой горизонтальной грани (см. черт. 8.4).

Примечание. Значения α для промежуточных отношений $\frac{b}{a}$ следует определять линейной интерполяцией.

8.8 Изгибаемые тонколистовые конструкции с гофрированным листом, усиленным продольными ребрами, следует рассчитывать на прочность и прогиб с учетом включения в работу ребер и части листа размером *c* в каждую сто-

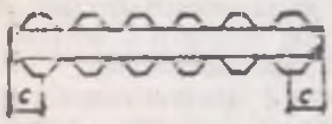
рону от ребра (см. черт. 8.2, *б*), определяемым по формуле (8.2) независимо от наличия поперечных ребер.

8.9 При расчете сжато-изгибаемых и растянуто-изгибаемых гофрированных листов с трапециевидным гофром (обшивок трехслойных панелей с закладным утеплителем) на прочность при обеспечении совместной работы обшивок и продольных ребер кроме моментов инерции гофрированных листов относительно их нейтральных осей следует учитывать момент инерции сечения, в которое входят продольные ребра и часть обшивок размером *c* (черт. 8.6):

$$c = 47 + 30\frac{b}{a} - 3.3\frac{EI_x}{10^3}, \text{ мм}, \qquad (8.7)$$

где $\frac{b}{a}$ - отношение ширины панели к шагу поперечных ребер;

EI_x - жесткость гофра на единицу длины относительно его нейтральной оси, кН·м².



Черт. 8.6. Сечение трехслойной панели

Таблица 8.2

Отношение $\frac{b}{a}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4
Коэффициент k_{loc}	5,22	5,15	5,10	5,05	5,00	4,95	4,88	4,84	4,80	4,72

Обозначения, принятые в табл. 8.2

b - размер наклонной грани;

a - размер сжатой горизонтальной грани (см. черт. 8.4).

Таблица 8.3

Отношение $\frac{c}{R}$	0,7	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	3,0
Коэффициент ζ	1,00	0,86	0,76	0,67	0,61	0,56	0,52	0,48	0,41	0,35

Примечание. Напряжение σ следует определять в зависимости от напряженного состояния по формулам (8.8) - (8.11) при $\zeta = 1$.

8.10 Местную устойчивость сжатых горизонтальных граней изгибаемых листов с трапециевидным гофром (см. черт. 8.4, *а*) следует проверять с учетом упругого защемления продольных кромок по формуле

$$\sigma \le k_{loc}\zeta E\left(\frac{t}{a}\right)^2, \qquad (8.8)$$

где σ - сжимающие напряжения в грани от внешней нагрузки;

k_{loc} - коэффициент, принимаемый по табл. 8.2;

ζ - коэффициент, принимаемый по табл. 8.3.

8.11 Местную устойчивость наклонных граней листов с трапециевидным гофром в местах опирания на прогоны или ригели следует проверять по рекомендуемому приложению 7.

8.12 Местную устойчивость волнистых листов при изгибе (см. черт. 8.4, *б*) следует проверять по формуле

$$\sigma \le 0.22\zeta E\frac{t}{r}. \qquad (8.9)$$

8.13 Общую устойчивость центрально-сжатого гофрированного листа следует проверять в соответствии с указаниями п. 5.2 и табл. 2 обязательного приложения 3. За расчетную длину следует принимать расстояние между закреплениями, препятствующими смещению гофрированного листа из его плос-

кости, независимо от наличия поперечных ребер.

8.14 Местную устойчивость элементов листа трапециевидной формы при центральном сжатии следует проверять по формуле

$$\sigma \le 3.6\zeta E\left(\frac{t}{b}\right)^2, \qquad (8.10)$$

где b - ширина большей грани.

Местную устойчивость волнистого гофрированного листа при центральном сжатии следует проверять по формуле

$$\sigma \le 0.12\zeta E\frac{t}{r} \qquad (8.11)$$

ЭЛЕМЕНТЫ МЕМБРАННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

8.15 Расчет элементов мембранных конструкций следует производить на основе совместной работы мембраны и контура с учетом их деформированного состояния и геометрической нелинейности мембраны.

8.16 При расчете элементов мембранных конструкций (мембраны и контура) следует учитывать:

осевое сжатие;

сжатие, вызываемое усилиями сдвига по линии контакта мембраны с элементами контура;

изгиб в тангенциальной и вертикальной плоскостях;

начальный (имеющийся до нагружения) прогиб мембраны.

8.17 При прикреплении мембраны с эксцентриситетом относительно центра тяжести сечения элементов контура кроме факторов, указанных в п. 8.16, при расчете контуров следует учитывать кручение.

8.18 При расчете пространственных блоков с предварительно напряженной обшивкой и наличии торцевых элементов жесткости обшивку следует вводить в работу каркаса блока при условии обеспечения надежной передачи усилий от элементов каркаса к обшивке.

Величину предварительного натяжения обшивки, расположенной в сжатой зоне, следует определять из условия равенства в ней нуля суммарных напряжений (без учета мембранных) при действии расчетной нагрузки.

Величину предварительного натяжения листа в расчете обшивок при контроле процесса натяжения по силовым параметрам и возможности регулирования растягивающих усилий следует определять с учетом коэффициента работы $\gamma_c = 1$. При контроле по геометрическим параметрам напряжения в обшивке должны удовлетворять условиям:

$$\left.\begin{aligned} \sigma_r + \sigma_t \cdot 1.1 \le R; \\ -\sigma_r + \sigma_t \cdot 0.9 \ge 0, \end{aligned}\right\} \qquad (8.12)$$

где σ_t, σ_r - напряжения в листе соответственно от предварительного натяжения и внешней нагрузки.

8.19 При расчете элементов мембранных конструкций с одноосным напряжением обшивок следует учитывать дополнительное воздействие цепных усилий в обшивке, воспринимаемых продольными элементами каркаса.

8.20 Соединения мембран из алюминиевых сплавов, а также прикрепление их к опорному контуру следует рассчитывать на воздействие температурного перепада (с учетом разности коэффициентов линейного расширения материалов мембраны и контура).

9 РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

9.1 Сварные швы следует рассчитывать по формулам табл. 9.1.

Сварные соединения внахлестку двумя лобовыми швами имеют расчетное сопротивление, равное расчетному сопротивлению сварного стыкового соединения при, что лобовые швы наложены по всей толщине свариваемых элементов и концы их выведены за пределы соединения.

9.2 Сварные стыковые соединения, работающие на изгиб, следует рассчитывать по формулам для расчета целого сечения с расчетными сопротивлениями, принятыми по табл. 8, 9 приложения 2.

9.3 Сварные стыковые соединения, работающие на изгиб и срез, следует проверять по формуле

$$\frac{\sigma_w}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_w^2}{4} + \tau_w^2} \le R_w\gamma_c, \qquad (9.1)$$

где σ_w - напряжение в сварном соединении от изгиба;

τ_w - напряжение в сварном шве от среза.

Таблица 9.1

Сварные швы	Напряженное состояние	Расчетная формула
Стыковые, расположенные перпендикулярно действующей силе	Сжатие, растяжение	$\frac{N}{l_w t} \le R_w \gamma_c$
Угловые	Срез	$\frac{N}{\beta k_f l_w} \le R_{wf} \gamma_c$

Обозначения, принятые в табл. 9.1:

N - расчетная продольная сила;

l_w - расчетная длина шва, равная его полной длине за вычетом $2t$ или $2k_f$; при выводе шва за пределы соединения (на прокладки и т.д.) за расчетную длину принимается его полная длина;

t - наименьшая толщина соединяемых элементов;

β_f - коэффициент, принимаемый равным 0,9 - при автоматической одно- и двухпроходной сварке, 0,7 - при автоматической многопроходной сварке, при ручной и полуавтоматической сварке с любым количеством проходов;

k_f - катет углового шва, принимаемый равным катету вписанного равнобедренного треугольника.

9.4 При одновременном действии срезывающих напряжений в двух направлениях в одном и том же сечении углового шва расчет следует производить на равнодействующую этих напряжений.

9.5 Угловые швы, прикрепляющие элемент, на который действуют одновременно осевое усилие и изгибающий момент, следует рассчитывать по формуле (5.29), в которой:

$A_n = A_{wf}$ - расчетная площадь швов;

I_x, I_y - момент инерции расчетной площади швов соответственно относительно осей $x - x$ и $y - y$;

$R = R_{wf}$ - расчетное сопротивление углового шва.

ЗАКЛЕПОЧНЫЕ И БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

9.6 В заклепочных и болтовых соединениях при действии продольной силы N, проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между заклепками или болтами следует принимать равномерным.

Заклепочные или болтовые соединения, воспринимающие продольные силы, следует рассчитывать на срез и смятие заклепок и болтов по формулам табл. 9.2.



Черт. 9.1. Заклепка с полукруглой головкой

9.7 Заклепки и болты, работающие одновременно на срез и растяжение, следует проверять отдельно на срез и на растяжение.

9.8 В креплениях одного элемента к другому через прокладки или иные промежуточные элементы, а также в креплениях с односторонней накладкой число заклепок (болтов) должно быть увеличено против расчетного числа на 10%.

При прикреплении выступающих полок уголков или швеллеров с помощью коротышей число заклепок (болтов), прикрепляющих одну из полок коротыша, должно быть увеличено против расчетного числа на 50%.

Таблица 9.2

Соединение	Напряженное состояние	Расчетная формула
Заклепки (или болты)	Срез	$\frac{N}{nn_s\frac{\pi d^2}{4}} \le R_{ms}(R_{bs})$ (9.2)
	Смятие	$\frac{N}{nd\Sigma z} \le R_{mp}(R_{bp})$ (9.3)
Болты	Растяжение	$\frac{N}{n\frac{\pi d_0^2}{4}} \le R_{bt}$ (9.4)
Заклепки	Отрыв головки заклепки	$\frac{N}{n\pi dh} \le R_{ms}$ (9.5)

Обозначения, принятые в табл. 9.2.

N - расчетная продольная сила, действующая на соединение

n - число заклепок или болтов в соединении;

n_s - число рабочих срезов одной заклепки или болта;

d - диаметр отверстия для заклепки или наружный диаметр стержня болта;

Σz - наименьшая суммарная толщина элементов, сминаемых в одном направлении;

d_0 - внутренний диаметр резьбы болта;

$h=0,4d$ - высота поверхности отрыва головки (черт. 9.1).

Примечание. Расчет болтов на срез и смятие следует производить по формулам (9.2) и (9.3) с заменой R_{ms} и R_{mp} соответственно на R_{bs} и R_{bp}.

МОНТАЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЬНЫХ БОЛТАХ

9.9 Монтажные соединения на высокопрочных стальных болтах следует рассчитывать в предположении передачи действующих в стыках и прикреплениях усилий через трение, возникающее по соприкасающимся плоскостям соединяемых элементов от натяжения высокопрочных болтов. При этом распределение продольной силы между болтами следует принимать равномерным.

9.10 Расчетное усилие (Q_{bh}, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, следует определять по формуле

$$Q_{bh}=\frac{R_{bh}\gamma_b A_{bn}\mu}{\gamma_h} \quad (9.6)$$

где R_{bh} - расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта, определяемое согласно нормам проектирования стальных конструкций;

γ_b - коэффициент условий работы соединения, принимаемый равным 0,8;

A_{bn} - площадь сечения болта нетто, определяемое согласно нормам проектирования стальных конструкций;

μ - коэффициент трения, принимаемый по табл. 9.3;

γ_h - коэффициент надежности, принимаемый по нормам проектирования стальных конструкций.

Таблица 9.3

Способ обработки соединяемых поверхностей	Пескоструйная очистка	Травление поверхности	Без обработки (после обезжиривания)
Коэффициент трения μ	0,45	0,4	0,15

Количество n высокопрочных болтов в соединении при действии продольной силы следует определять по формуле

$$n \geq \frac{N}{k_1 \gamma_c Q_{bh}}, \qquad (9.7)$$

где k_1 - количество поверхностей трения соединяемых элементов.

Натяжение высокопрочного болта следует производить осевым усилием $P = R_{bh} A_{bn}$

9.11 Расчет на прочность соединяемых элементов, ослабленных отверстиями под высокопрочные болты, следует выполнять с учетом того, что половина усилия, приходящегося на каждый болт, в рассматриваемом сечении уже передана силами трения. При этом проверку ослабленных сечений следует производить по площади сечения брутто A при $A_n \geq 0,85A$ или по условной площади $A_c = 1,18A_n$ при $A_n < 0,85A$.

СОЕДИНЕНИЯ С ФРЕЗЕРОВАННЫМИ ТОРЦАМИ

9.12 В соединениях с фрезерованными торцами (в стыках сжатых элементов и т. п.) сжимающую силу следует считать полностью передающейся через торцы.

Во внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементах сварные швы и болты, включая высокопрочные, указанных соединений следует рассчитывать на максимальное растягивающее усилие от действия момента и продольной силы при наиболее неблагоприятном их сочетании, а также на сдвигающее усилие от действия поперечной силы.

ПОЯСНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В СОСТАВНЫХ БАЛКАХ

9.13 Сварные швы, заклепки и высокопрочные болты, соединяющие стенки и пояса составных двутавровых балок, следует рассчитывать по табл. 9.4.

9.14 В балках с соединениями на заклепках и высокопрочных болтах с многолистовыми поясными пакетами прикрепление каждого из листов за местом своего теоретического обрыва следует рассчитывать на половину усилия, которое может быть воспринято сечением листа. Прикрепление каждого листа на участке между действительным местом его обрыва и местом обрыва предыдущего листа следует рассчитывать на полное усилие, которое может быть воспринято сечением листа.

АНКЕРНЫЕ БОЛТЫ

9.15 В конструкциях из алюминиевых сплавов анкерные болты следует выполнять из стали. Расчет стальных анкерных болтов следует производить по нормам проектирования стальных конструкций.

10 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

10.1 При проектировании алюминиевых конструкций необходимо:

а) предусматривать связи, обеспечивающие в процессе монтажа и эксплуатации устойчивость и пространственную неизменяемость сооружения в целом и его элементов, назначая их в зависимости от основных параметров и режима эксплуатации сооружения (конструктивной схемы пролетов, температурных воздействий и т.д.);

б) учитывать производственные возможности предприятий-изготовителей металлоконструкций и мощность подъемно-транспортного оборудования монтажных организаций.

Таблица 9.4

Нагрузки	Вид соединений	Формулы для расчета поясных соединений в составных балках
Неподвижная (распределенная и сосредоточенная)	Угловые швы	$\frac{T}{2\beta_f k_f} \le R_{wf}\gamma_c$ (9.8)
	Заклепки	$aT \le Q_{rn}\gamma_c n_s$ (9.9)
	Высокопрочные болты	$aT \le Q_{bh}\gamma_c k_f$ (9.10)
Местная сосредоточенная	Угловые швы	$\frac{\sqrt{T^2+V^2}}{2\beta_f k_f} \le R_{wf}\gamma_c$ (9.11)
	Заклепки	$a\sqrt{T^2+\alpha V^2} \le Q_{rn}\gamma_c n_s$ (9.12)
	Высокопрочные болты	$a\sqrt{T^2+\alpha V^2} \le Q_{bh}\gamma_c k_f$ (9.13)

Обозначения, принятые в табл. 9.4

$T = \frac{QS}{I}$ - сдвигающее пояс усилие на единицу длины, вызываемое поперечной силой Q (здесь S - статический момент брутто пояса балки относительно нейтральной оси);

$Q_{rs} = R_{rsn}\frac{\pi d^2}{4}$ - расчетное усилие одной заклепки на срез, определяемое по формуле 9.2;

$V = \frac{\gamma_f F}{l_{ef}}$ - давление от сосредоточенного груза F (здесь γ_f - коэффициент, принимаемый согласно нормам проектирования стальных конструкций КМК 2.03.05-97);

Q_{bh} - расчетное усилие одного высокопрочного болта, определяемое по формуле (9.6)

a - шаг поясных заклепок или высокопрочных болтов,

n_s - число расчетных срезов одной заклепки;

k_f - количество поверхностей трения соединяемых элементов,

l_{ef} - условная длина распределения сосредоточенной нагрузки, принимаемая по обязательному приложению 4,

α - коэффициент, принимаемый при нагрузке по верхнему поясу балки, в которой стенка пристроглась к верхнему поясу, $\alpha = 0,4$, при отсутствии пристрожки стенки или при нагрузке по нижнему поясу $\alpha = 1$

в) компоновать элементы конструкции из наименьшего числа деталей;

г) использовать металл с наименьшими отходами и потерями путем соответствующего размещения стыков в конструкции.

д) предусматривать конструктивные решения и производить разбивку конструкции на отправочные элементы с учетом рационального и экономичного транспортирования их на строительство;

е) предусматривать возможность укрупнения отправочных элементов конструкции на строительной площадке для монтажа их крупными блоками и обеспечения устойчивости отдельных элементов и блоков сооружений в процессе монтажа;

ж) предусматривать монтажные крепления элементов, обеспечивающие возможность их легкой сборки и удобного выполнения соединений на монтаже (устройство монтажных столиков и т. п.), а также быстроту выверки конструкций;

з) предусматривать монтажные соединения элементов болтовыми; сварные и клепаные монтажные соединения допускать лишь в тех случаях, когда применение болтов нерационально или не разрешается нормативными документами.

10.2 Прогибы изгибаемых элементов следует определять от нормативной нагрузки без учета коэффициентов

Относительные прогибы элементов не должны превышать значений, приведенных в табл. 10.1

Таблица 10.1

Элементы конструкций	Относительные прогибы элементов (к пролету l)
1. Балки покрытий и чердачных перекрытий:	
главные балки	1/250 (1/200)
прогоны	1/200 (1/150)
обрешетка	1/150 (1/125)
2. Покрытия, в том числе большепролетные без подвесного транспорта	1/300 (1/250)
3. Элементы фахверка:	
стойки, ригели	1/300 (1/200)
прогоны остекления (в вертикальной и горизонтальной плоскостях)	1/200
4. Стеновые панели:	
с остеклением	1/200
без остекления	1/125 (1/100)
5. Кровельные панели, подвесные потолки	1/150 (1/125)
6. Вертикальные и горизонтальные элементы ограждающих конструкций (импосты) при остеклении:	
одинарном	1/200
стеклопакетами	1/300

Примечания. 1. Величины прогибов, приведенные в скобках, допускаются лишь при наличии обоснования (опытное строительство, наличие строительного подъема и др.).

2. Предельные значения прогибов допускается определять при соответствующем обосновании из условия сохранения плотности стыков.

3. При применении подвесного транспорта прогибы конструкций следует определять в каждом конкретном случае из условия нормальной эксплуатации подъемно-транспортного механизма.

10.3 Температурные климатические воздействия на алюминиевые конструкции одноэтажных зданий и сооружений следует учитывать путем соблюдения наибольших расстояний между температурными швами в соответствии с табл. 10.2, а также применением конструктивных мер при проектировании ограждающих конструкций, их стыков и пашельников.

10.4 Ограждающие конструкции зданий (стены и покрытия, отдельные панели настилы и их стыки), а также детали крепления ограждений к каркасу здания следует проектировать с учетом изменения температуры в течение года, обеспечивая при этом свободу температурных деформаций при сохранении теплотехнических свойств и герметичности ограждений.

10.5 Расчетные перепады температуры между наружными и внутренними поверхностями ограждающих конструкций следует принимать с учетом внутреннего температурного режима эксплуатации здания.

Таблица 10.2

Характеристика зданий и сооружений	Наибольшие расстояния, м		
	между температурными швами		от температурного шва или торца здания до оси ближайшей вертикальной связи
	по длине блока (вдоль здания)	по ширине блока	
Отапливаемые здания	144	120	72
Неотапливаемые здания и горячие цехи	96	90	48
Открытые эстакады	72		36

Примечание. Наибольшие расстояния указаны для зданий и сооружений, в которых конструкции покрытий или (и) стен выполнены из алюминия, а колонны - из стали или алюминия.

10.6 Выбор материала для утеплителя, клея и герметиков при проектировании ограждающих конструкций следует производить с учетом величин расчетных перепадов температуры между наружными и внутренними поверхностями ограждающих конструкций.

10.7 При технико-экономическом обосновании в конструкциях допускается применять алюминий в сочетании с другими строительными материалами (алюминий и дерево в оконных и дверных конструкциях, алюминий и полимеры в стеновых и кровельных конструкциях и др.). При этом необходимо учитывать различие в величинах модулей упругости и коэффициентов линейного расширения материалов, а также предусматривать мероприятия по защите алюминия от контактной коррозии.

10.8 В конструкциях сборно-разборных зданий алюминий следует применять в виде:

ограждающих полносборных элементов для стен, кровли, перегородок, дверных и оконных проемов и др.;

несущих элементов полной заводской готовности с монтажными соединениями на болтах и др.

10.9 При проектировании элементов ограждающих и несущих конструкций сборно-разборных зданий следует предусматривать их взаимозаменяемость. Монтажные узлы и стыки необходимо располагать в местах, исключающих скопление грязи, пыли, влаги и др.

10.10 При транспортировании следует предусматривать сохранность элементов сборно-разборных зданий и сооружений путем их пакетирования и перевозки в контейнерах.

10.11 Для защитно-декоративной отделки алюминиевых конструкций и изделий архитектурного назначения надлежит применять материалы, предусмотренные государственными стандартами и типовыми чертежами конструкций соответствующего вида.

10.12 Ограждающие конструкции следует проектировать совместно с разработкой необходимых приборов открывания фиксации, а также других изделий и материалов.

10.13 При проектировании ограждающих алюминиевых конструкций необходимо обеспечить возможность легкой замены элементов, подверженных ускоренному старению, износу или ремонту (например, уплотнительных прокладок, стекла и др.).

10.14 Коррозионную стойкость алюминиевых конструкций производственных и сельскохозяйственных зданий и сооружений, подвергающихся воздействию агрессивных сред, следует обеспечивать путем выбора марки и состояния алюминия, назначения рациональных конструктивных форм и минимальных толщин в соответствии с нормами по антикоррозионной защите.

11 КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

11.1 Выбор вида соединения (сварное, болтовое, заклепочное и др.) следует производить в зависимости от характера работы соединений и с учетом степени ослабления алюминия, определяемого видом соединений.

Сварные соединения элементов несущих конструкций следует выполнять, как правило, в заводских условиях. При проектировании сварных конструкций необходимо предусматривать применение кондукторов.

11.2 Тонколистовые ограждающие конструкции и их соединения следует проектировать сварными или клепаными (заводские и монтажные крепления обшивок к каркасам, стыки в кровельных покрытиях), а также с применением соединений на фальцах, защелках и др.

11.3 При проектировании сварных тонколистовых конструкций необходимо обеспечить сохранение внешнего вида конструкций путем: выбора способа сварки, обеспечивающего требуемый внешний вид сварных соединений; устройства пазелышков и других конструктивных элементов на сварных соединениях; применения жестких кондукторов проковки сварных швов для уменьшения сварочных деформаций и др.

11.4 Применение сварных соединений в конструкциях, предназначенных для антикоррозионной защиты анодированием, допускается при специальном обосновании.

11.5 Минимальную толщину полуфабрикатов алюминиевых конструкций следует назначать по расчету и в зависимости от условий их перевозки и монтажа. Толщина элементов ограждающих конструкций при нормальных условиях их эксплуатации допускается не менее 0,6 мм.

11.6 При проектировании строительных конструкций из алюминия необходимо учитывать требования государственных стандартов и пользоваться каталогами алюминиевых профилей.

11.7 Комбинированные соединения, в которых часть усилий воспринимается заклепками, а часть - сварными швами, применять запрещается.

11.8 Алюминий в сочетании со сталью допускается применять в составе одной конструкции при выполнении различных элементов конструкции из алюминия и стали:

одного элемента конструкции, выполненного из алюминия при стальных соединениях (болты).

11.9 Соединения элементов ограждающих конструкций (витрин, витражей, окон, дверей и др.), выполняемые на вкладышах, должны быть проверены в опытных конструкциях.

Непосредственное соприкосновение заполнения из стекла с элементами алюминиевого каркаса не допускается.

КОНСТРУИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

11.10 При проектировании конструкций со сварными соединениями следует:

применять высокопроизводительные механизированные способы сварки;

предусматривать возможность сварки без кантовки конструкций при изготовлении;

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

назначать размеры и взаимное расположение швов и выбирать способ сварки исходя из требования обеспечения наименьших собственных напряжений и деформаций при сварке;

избегать сосредоточения большого числа швов в одном месте;

принимать число и размеры сварных швов минимально необходимыми.

11.11 Разделку кромок под сварку следует назначать с учетом способа и технологии сварки, положения шва в пространстве и толщины свариваемых элементов по соответствующим стандартам и заводским нормалям.

11.12 При проектировании сварных соединений и узлов в несущих конструкциях следует предусматривать снижение концентрации напряжений, применяя для этого соответствующие конструктивные решения и технологические мероприятия. Следует предусматривать преимущественно сварные соединения встык с обязательной подваркой корня шва или с использованием формирующих подкладок. Концы швов встык следует выводить за пределы стыка (например, с помощью выводных планок). При сварке встык двух листов разной толщины следует осуществлять переход от толстого листа к тонкому устройством скоса.

11.13 Число стыков в расчетных элементах должно быть минимальным

11.14 Сварные соединения следует, как правило, располагать в наименее напряженных местах элементов конструкций.

11.15 В узлах несущих конструкции из прессованных профилей следует предусматривать сварные соединения встык и втавр.

11.16 Размеры и форма сварных угловых швов должны удовлетворять следующим требованиям:

катет швов k_f (при сварке элементов толщиной 4 мм и более) следует принимать не менее 4 мм. При сварке швов нахлесточных соединений катет по вертикальному размеру не должен выступать над поверхностью детали более чем на 1 мм. Если в соединении более тонкий элемент имеет бульбу, то предельная величина катета шва k_f может быть увеличена до $1,5t$ (где t - наименьшая толщина соединяемых элементов);

расчетная длина флангового и лобового швов должна быть не менее 40 мм и не менее $4k_f$;

расчетная длина флангового шва должна быть не более $50k_f$ за исключением соединений, где воспринимаемое фланговым швом усилие возникает на всем протяжении шва; в последнем случае длина флангового шва не ограничивается;

в соединениях внахлестку с угловыми швами величина нахлестки должна быть не менее пяти толщин наиболее тонкого элемента.

11.17 Сварные соединения тонколистовых конструкций следует проектировать с учетом технологических особенностей применяемых способов сварки:

приварку тонких листов обшивки к более толстым элементам каркаса допускается выполнять аргонодуговой точечной или контактной точечной сваркой, при контактной точечной сварке отношение толщин свариваемых элементов не должно превышать 1 : 3;

в заводских условиях для укрупнения тонколистовых элементов следует, как правило, применять контактную роликовую сварку, обеспечивающую получение прочных водонепроницаемых соединений. Размеры соединений при контактной роликовой сварке приведены в табл. 11.1.

Допускается укрупнение тонколистовых элементов в заводских условиях выполнять сваркой контактной точечной (размеры соединений приведены в табл. 11.1), аргонодуговой точечной и аргонодуговой непрерывным швом.

При сварке стыков кровельных покрытий в монтажных условиях следует, как правило, применять аргонодуговую сварку вольфрамовым или плавящимся электродом с импульсным питанием дуги. Основными видами соединений при этом являются нахлесточное и бортовое.

При применении аргонодуговой точечной сварки в монтажных условиях для соединения тонколистовых элементов основным видом соединения является нахлесточное; величина нахлестки должна быть не менее 30 мм.

Аргонодуговой точечной сваркой допускается сваривать пакет из трех элементов (толщина двух верхних листов в пакете не должна превышать 3 мм).

КОНСТРУИРОВАНИЕ БОЛТОВЫХ И ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

11.18 В рабочих элементах конструкций число расположенных по одну сторону стыка заклепок, прикрепляющих элемент в узле, должно быть не менее двух.

11.19 При заводской холодной клепке толщина склепываемого пакета на скобе не должна превышать четырех диаметров заклепок.

11.20 Разбивку заклепок и болтов, в том числе высокопрочных, следует производить согласно табл. 11.2. Соединительные заклепки и болты, располагаемые вне узлов и стыков, следует размещать на максимальных расстояниях.

11.21 Для соединений с использованием стальных болтов необходимо предусматривать мероприятия по защите их от контактной коррозии.

11.22 Диаметр заклепки должен быть не более пяти толщин наиболее тонкого элемента. За расчетный диаметр заклепки следует принимать диаметр отверстия.

11.23 Форма заклепки и ее размеры для холодной клепки устанавливаются техническими условиями на изготовление строительных конструкций из алюминия.

11.24 При соединении внахлестку профилированных листов кровли (вдоль гофра) элементы крепления (болты, заклепки) следует располагать в каждом гребне гофра.

Стыки мембранной или предварительно напряженной обшивки толщиной до 2 мм следует выполнять внахлестку, при этом стык должен быть соеди-

нен не менее чем двумя рядами сварных точек или заклепок.

11.25 В конструкциях из профилированных листов ребра жесткости или диафрагмы следует соединять в каждой точке касания с гофром и элементом, усиливающим конструкцию.

11.26 Конструкция соединения тонких алюминиевых лент с контуром должна иметь регулируемое предварительное натяжение и не допускать контакта между алюминием, сталью или бетоном.

Таблица 11.1

Толщина наиболее тонкой детали, мм	Контактная точечная сварка				Роликовая сварка			
	диаметр ядра, мм	минимальные размеры, мм			ширина литой зоны	минимальные размеры, мм		
		ширина нахлестки[1] при шве		шаг между точками		ширина нахлестки[1] при шве		расстояние от оси шва до края листа
		однорядном	двухрядном (в шахматном порядке)			однорядном	двухрядном[2]	
0,5	3 - 4	10	18	10	3 - 4	10	12	5
0,8	3,5 -4,5	12	25	13	3,5 -4,5	10	14	5
1	4 - 5	14	28	15	4 - 5	12	16	6
1,2	5 - 6	16	30	15	5 - 6	14	20	7
1,5	6 - 7	18	35	20	6 - 7	16	24	8
2	7 - 8	20	42	25	7 - 8	20	28	10
3	9 - 10	26	56	35	8 - 9	24	34	12

[1] При сварке трех листов алюминия ее следует увеличивать на 15 - 20%.
[2] Выполняется с перекрытием на 30 - 50%.

Таблица 11.2

Характеристика расстояния	Расстояния при размещении заклепок и болтов
Между центрами заклепок и болтов в любом направлении:	
минимальное	для заклепок $3d$ для болтов $3,5d$
максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии	$5d$ или $10t$
максимальное в средних и крайних рядах при наличии окаймляющих уголков:	
при растяжении	$12d$ или $20t$
« сжатии	$10d$ или $14t$
От центра заклепки или болта до края элемента:	
минимальное вдоль усилия и по диагонали	$2,5d$
минимальное поперек усилия при обрезных кромках	$2,5d$
то же, при прокатных или прессованных кромках	$2d$
максимальное	$6d$

Обозначения, принятые в табл. 11.2
d - диаметр отверстия для заклепки или болта;
t - толщина наиболее тонкого наружного элемента пакета.

Приложение 1
Обязательное

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

ГОСТ 27751 - 88	Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.
ГОСТ 21631 - 83*Е	Листы из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
ГОСТ 13726 - 78*Е	Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
ГОСТ 18475 - 82*Е	Трубы прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
ГОСТ 8617 - 81*Е	Профили прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
ГОСТ 18482 - 79*Е	Трубы прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.
ГОСТ 22233 - 83	Профили прессованные из алюминиевых сплавов для ограждающих строительных конструкции. Общие технические условия.
ГОСТ 2685 - 75	Сплавы алюминиевые литейные. Марки технические требования и методы испытаний.
ГОСТ 10157 - 79*	Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.
ГОСТ 10299 - 80*	Заклепки с полукруглой головкой. Технические условия.
ГОСТ 14838 - 78*Е	Проволока из алюминия и алюминиевых сплавов для холодной высадки. Технические условия.
ГОСТ 21488 - 76*Е	Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия.

Приложение 2
Обязательное

ФИЗИЧЕСКИЕ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЮМИНИЯ

Таблица 1

Физические характеристики алюминия

Физическая характеристика	Значения
Модуль упругости E, Мпа (кгс/см^2) при температуре, °С: от минус 40 до плюс 50	$0,7 \cdot 10^5$ ($0,71 \cdot 10^6$)
100	$0,64 \cdot 10^5$ ($0,65 \cdot 10^6$)
Модуль сдвига G, Мпа (кгс/см^2), при температуре, °С: от минус 40 до плюс 50	$0,265 \cdot 10^5$ ($0,27 \cdot 10^6$)
100	$0,255 \cdot 10^5$ ($0,26 \cdot 10^6$)
Коэффициент поперечной деформации (Пуассона) ν	0,3
Коэффициент линейного расширения α, °С$^{-1}$, при температуре от минус 40 до плюс 100 °С	$0,23 \cdot 10^{-4}$
Среднее значение плотности ρ, кг/м^3	2700

Примечание. Для промежуточных значений температуры значения E и G следует определять линейной интерполяцией.

Таблица 2

Расчетные характеристики алюминия

Напряженное состояние	Обозначение	Расчетное сопротивление
Растяжение, сжатие и изгиб	R	R^*
Сдвиг	R_s	$R_s = 0,6\,R$
Смятие торцевой поверхности (при наличии пригонки)	R_p	$R_p = 1,6\,R$
Смятие местное при плотном касании	R_{lp}	$R_{lp} = 0,75\,R$

* Значения расчетного сопротивления R следует принимать равным меньшему из значений расчетного сопротивления алюминия растяжению, сжатию, изгибу по условному пределу текучести R_y и расчетного сопротивления алюминия растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению R_u. При этом

$$R_y = R_{yn}/\gamma_m,$$

$$R_u = R_{un}/(\gamma_m\gamma_n),$$

где R_{yn} - нормативное сопротивление алюминия, принимаемое равным значению условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ по государственным стандартам и техническим условиям на алюминий;

R_{un} - нормативное сопротивление алюминия разрыву, принимаемое равным минимальному значению временного сопротивления σ_u по государственным стандартам и техническим условиям на алюминий;

$\gamma_n = 1,1$;

$\gamma_m = 1,45$

Таблица 3

Расчетное сопротивление растяжению в направлении толщины прессованных полуфабрикатов R_{th}, МПа (кгс/см²)

термически не упрочняемого алюминия марок					
АД1М	АМцМ	АМг2М	АМг2Н2		литейного марки АЛ8
			листы	ленты	
25 (250)	40 (400)	70 (700)	125 (1250)	-	-

термически упрочняемого алюминия марок					
АД31Т; АД31Т4	АД31Т5	АД31Т1	1935Т	1925; 1915	1915Т
40 (400)	75 (750)	90 (900)	105 (1050)	130 (1350)	145 (1500)

Таблица 4

Расчетные сопротивления растяжению алюминия из листов для элементов конструкций, эксплуатация которых возможна и после достижения алюминием предела текучести

Марка и состояние алюминия	АД1М	АМцМ	АМг2М
Расчетное сопротивление R_{pl}, МПа (кгс/см²)	35 (350)	55 (550)	85 (850)

Таблица 5

Марка алюминия конструкций	АД1, АМц	АМг2, АД31, 1915, 1925, 1935, АЛ8
Коэффициент γ_t (при температуре от 51 до 100 °С)	0,85	0,90

Примечания: 1. Приведенные значения коэффициентов γ_t не зависят от состояния алюминия.

2. Для конструкций, эксплуатируемых при расчетных температурах выше 50 °С, коэффициенты γ_t следует уменьшать на 10% при непрерывном действии нормативной нагрузки свыше одного года, а также при непрерывном действии свыше двух лет нормативной нагрузки, составляющей 0,9 расчетной.

Таблица 6

Коэффициенты условия работы

Элементы конструкций	Коэффициент γ_c
1. Корпуса и днища резервуаров	0,8
2. Колонны жилых и общественных зданий и опор водонапорных башен	0,9
3. Сжатые элементы решетки плоских ферм при гибкости:	
$\lambda \leq 50$	0,9
$\lambda > 50$	0,75
4. Сжатые раскосы пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков, прикрепляемых к поясам одной полкой:	0,75
а) сварными швами или двумя заклепками (болтами) и более, поставленными вдоль уголка	0,6
б) одним болтом	0,6
5. Сжатые элементы из одиночных уголков, прикрепляемые одной полкой (для неравнополочных уголков - только узкой полкой), за исключением элементов конструкций, указанных в поз. 4 настоящей таблицы, и плоских ферм из одиночных уголков	

Примечания: 1. Коэффициенты условия работы поз. 3 и 5 одновременно не учитываются.

2. Коэффициенты условий работы поз. 3 и 4 не распространяются на крепления соответствующих элементов в узлах.

3. Для сжатых раскосов пространственных решетчатых конструкций из одиночных уголков при треугольной решетке с распорками (см. черт. 6.3, *а*) коэффициент условий работы поз. 4 не учитывается.

4. Для случаев, не оговоренных настоящей таблицей, в формулах следует принимать $\gamma_c = 1,0$.

Таблица 8

Сварные соединения и швы	Напряженное состояние	Обозначение	Расчетное сопротивление сварных швов, МПа (кгс/см²), алюминия марок		
			АД1М	АМцМ	АМг2М; АМг2Н2
			при сварке с применением электродной или присадочной проволоки марок		
			СвА1	СвАМг3	СвАМг5
Встык	Сжатие, растяжение, изгиб	R_w	25 (250); 30 (300)*	40 (400); 45 (450)*	65 (650)
	Сдвиг	R_{wz}	15 (150)	25 (250)	40 (400)
Угловые швы	Срез	R_{wf}	20 (200)	30 (300)	45 (450)

*Для конструкций, эксплуатация которых возможна и после достижения алюминием предела текучести.

Таблица 9

Сварные соединения и швы	Напряженное состояние	Обозначение	Расчетное сопротивление сварных швов, МПа (кгс/см²), алюминия марок						
			АД31Т; АД31Т4	АД31Т5	АД31Т1	1935Т	1915	1915Т при толщине металла, мм	
								4	5-12
			при сварке с применением электродной или присадочной проволоки марок						
			СвАМг3; 1557			1557			
Встык	Сжатие, растяжение, изгиб при сварке электродом: а) плавящимся (автоматическая и полуавтоматическая сварка)	R_w	55 (550)	65 (650)	80 (800)	120 (1250); 80 (800)	140 (1450); 90 (900)	-	155 (1600); 105 (1050)
	б) вольфрамовым (ручная и механизированная сварка)	R_w	55 (550)	65 (650)	80 (800)	115 (1150); 80 (800)	140 (1450); 90 (900)	155 (1600); 105 (1050)	155 (1600); 105 (1050)
	Сдвиг	R_{wz}	35 (350)	40 (400)	50 (500)	80 (800)	90 (900)	110 (1100); 80 (800)	105 (1050); 80 (800)
Угловые (швы фланговые и лобовые)	Срез	R_{wf}	45 (450)	45 (450)	45 (450)	80 (800)	110 (1100)	110 (1100)	110 (1100)

Примечания: 1. Расчетные сопротивления сварных соединений алюминия марки 1915Т указаны для прессованных профилей.

2. Расчетные сопротивления сварных соединений термически упрочняемого алюминия могут быть повышены по вторичной термической обработкой (после сварки соединения), при этом для алюминия системы Al-Mg-Si следует принимать $R_w = 0,9R$; для алюминия системы Al-...n-Mg $R_w = R$ (где R - расчетное сопротивление).

3. В сварных нахлесточных соединениях из алюминия марок АД31Т, АД31Т1, АД31Т4 и АД31Т5 применять лобовые швы не допускается.

Таблица 7

Расчетные сопротивления, МПа (кгс/см²), алюминия в околошовной зоне									
	термически упрочняемого марок				термически не упрочняемого марок				
	АД31Т; АД31Т4	АД31Т5	АД31Т1	1935Т	1915	1915Т	АД1М	АМцМ	АМг2М; АМг2Н2
	при сварке с применением электродной или присадочной проволоки марок								
	СвАМг3; 1557			1557			СвА1	СвАМг3	
Встык: растяжение, сжатие и изгиб	55 (550)	65 (650)	80 (800)	115 (1150); 120 (1250); 80 (800)	140 (1450); 90 (900)	511 (1600); 105 (1050)	25 (250)	40 (400)	65 (650)
сдвиг	35 (350)	40 (400)	50 (500)				15 (150)	25 (250)	40 (400)
Внахлестку фланговые швы (черт. 41 а, приложение 11)	50 (500)	60 (600)*; 75 (750)*	80 (800)*; 105 (1050)*	100 (1000)*; 105 (1050)*	130 (1300)*; 140 (1450)*	140 (1450)*; 155 (1600)*	25 (250)	40 (400)	65 (650)

*Для конструкций, эксплуатация которых возможна и после достижения алюминием предела текучести.

Примечания: 1. Расчетные сопротивления R_w алюминия марки 1915Т указаны для профилей толщиной 5-12 мм. Для профилей толщиной 4 мм при сварке вольфрамовым электродом (ручная и механизированная сварка и т.п.) на разупрочнение алюминия в околошовной зоне не учитывающая и $R_w = 165$ МПа (1700 кгс/см²).

3. Влияние продольных сварных швов элементов конструкций (в обшивках, крестовых полотнищах и т.п.) на разупрочнение алюминия в околошовной зоне не учитывается.

4. Для сварных швов, выполняемых при монтаже, под чертой - плавящимся электродом.

Таблица 10

Марка алюминия для заклепок	АД1Н	АМг2Н	АМг5пМ	АВТ1
Расчетное сопротивление срезу соединений на заклепках $R_{ск}$, МПа (кгс/см²)	35 (350)	70 (700)	100 (1000)	100 (1 00)

Примечания: 1. В продавленные отверстия ставить заклепки не допускается.
2. Расчетные сопротивления соединений на заклепках с потайными или полупотайными головками следует снижать на 20%. Указанные заклепки растягивающие усилия не воспринимают.

Таблица 11

Соединение на болтах	Напряженное состояние	Обозначение	Расчетное сопротивление соединений на болтах R_b, МПа (кгс/см²), из алюминия марок	
			АМг5п	АВТ1
Повышенной точности	Растяжение	R_b	125 1250)	155(1600)
	Срез	$R_{ск}$	90 (900)	95 (950)
Нормальной и грубой точности	Растяжение	R_b	125 1250)	155 (1600)
	Срез	$R_{ск}$	80 (800)	85 (850)

Таблица 12

Марка алюминия элементов конструкций	Расчетное сопротивление смятию элементов конструкций, МПа (кгс/см²), для соединений	
	на заклепках, R_{cr}	на болтах R_{bp}
АД1М	40 (400)	35 (350)
АМцМ	65 (650)	60 (600)
АМг2М	110 (1100)	100 (1000)
АМг2Н2	195 (2000)	175 (1800)
АД31Т	90 (900)	80 (800)
АД31Т4	90 (900)	80 (800)
АД31Т5	155 (1600)	140 (1450)
АД31Т1	195 (2000)	175 (1800)
1935Т	225 (2300)	205 (2100)
1925	275 (2800)	245 (2500)
1915	275 (2800)	245 (2500)
1915Т	315 (3200)	285 (2900)

Примечание. Расчетные сопротивления приведены для соединений на болтах, поставленных на расстоянии $2d$ от их оси до края элемента. При сокращении этого расстояния до $1,5d$ приведенные расчетные сопротивления следует понижать на 40%.

Таблица 13

Расчетная несущая способность на срез сварных точек

Толщина элементов, мм	Расчетная несущая способность точки на срез. H (кгс)	Толщина элементов, мм	Расчетная несущая способность точки на сдвиг. H (кгс)
1	2	1	2
Контактная сварка (алюминий марок АМг2Н2 и АМг2М)		Аргонодуговая точечная сварка плавящимся электродом (алюминий марки АМг2Н2; сварочная проволока марки СвАМг3 или 1557)	
1	800 (80)	1 + 1	1950 (200)
1,5	1250 (130)	1 + 2	2350 (240)
2	1950 (200)	1,5 + 1,5	2950 (300)
		2 + 2	3350 (340).

Примечания: 1. Для контактной сварки указана толщина наиболее тонкого элемента, для дуговой точечной сварки в гр 1 первая цифра - толщина верхнего элемента.

2. Сварные точки следует выполнять в соответствии с соответствующими рекомендациями для аргонодуговой сварки.

Приложение 3
Обязательное

КОЭФФИЦИЕНТЫ φ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА ЦЕНТРАЛЬНО-СЖАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В табл 1 показаны схемы сечения, для которых в табл. 2 и 3 настоящего приложения приведены значения коэффициента φ.

Таблица 1

Схемы сечений для определения коэффициента φ

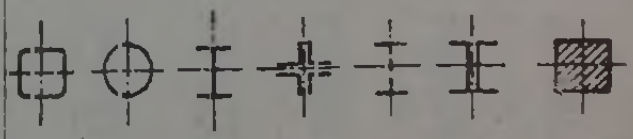
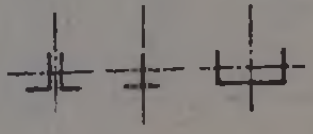
Тип сечения	Схема сечения	Номер таблицы
1		2
2		3

Таблица 2

Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов для сечений типа 1

Гибкость элементов - λ	Коэффициенты φ для элементов из алюминия марок								
	АД1М	АМцМ	АД31Т; АД31Т4	АМг2М	АД31Т5	АД31Т1; АМг2Н2	1935Т	1925; 1915	1915
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20	1,000	1,000	0,995	0,982	0,946	0,936	0,930	0,915	0,910
30	0,985	0,955	0,930	0,915	0,880	0,865	0,852	0,838	0,830
40	0,935	0,900	0,880	0,860	0,818	0,802	0,790	0,770	0,758
50	0,887	0,860	0,835	0,812	0,763	0,740	0,722	0,696	0,676
60	0,858	0,820	0,793	0,766	0,705	0,675	0,650	0,615	0,590
70	0,825	0,782	0,750	0,717	0,644	0,605	0,572	0,530	0,500
80	0,792	0,745	0,706	0,665	0,590	0,542	0,500	0,440	0,385
90	0,760	0,710	0,656	0,608	0,510	0,450	0,403	0,348	0,305
100	0,726	0,665	0,610	0,555	0,432	0,367	0,326	0,282	0,246
110	0,693	0,625	0,562	0,506	0,382	0,313	0,270	0,233	0,204
120	0,660	0,530	0,518	0,458	0,330	0,262	0,228	0,196	0,171
130	0,630	0,545	0,475	0,415	0,290	0,227	0,192	0,167	0,146
140	0,595	0,505	0,435	0,362	0,255	0,197	0,168	0,144	0,126
150	0,562	0,470	0,400	0,313	0,212	0,168	0,146	0,125	0,110

Таблица 3

Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов для сечений типа 2

Гибкость элементов λ	Коэффициенты φ для элементов из алюминия марок								
	АД1М	АМцМ	АД31Т; АД31Т4	АМг2М	АД31Т5	АД31Т1; АМг2Н2	1935Т	1925; 1915	1915
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	1,000	1,000	1,000	1,000	0,990	0,983	0,980	0,967	0,960
20	0,975	0,950	0,940	0,920	0,885	0,880	0,880	0,867	0,860
30	0,922	0,895	0,878	0,862	0,820	0,808	0,802	0,790	0,775
40	0,877	0,842	0,822	0,807	0,760	0,742	0,730	0,715	0,695
50	0,832	0,796	0,773	0,750	0,700	0,678	0,662	0,638	0,613
60	0,795	0,752	0,725	0,698	0,635	0,607	0,590	0,560	0,530
70	0,757	0,713	0,680	0,647	0,574	0,538	0,516	0,482	0,450
80	0,720	0,670	0,635	0,597	0,520	0,480	0,450	0,413	0,360
90	0,690	0,632	0,588	0,545	0,466	0,422	0,392	0,348	0,305
100	0,657	0,593	0,543	0,498	0,410	0,360	0,328	0,282	0,246
110	0,625	0,553	0,500	0,450	0,362	0,310	0,272	0,233	0,204
120	0,590	0,515	0,460	0,408	0,316	0,263	0,230	0,196	0,171
130	0,560	0,480	0,420	0,370	0,280	0,228	0,195	0,167	0,146
140	0,527	0,445	0,385	0,333	0,237	0,194	0,170	0,144	0,126
150	0,497	0,412	0,352	0,300	0,205	0,166	0,146	0,125	0,110

Приложение 4
Обязательное

РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СТЕНОК БАЛОК ПРИ МЕСТНОЙ НАГРУЗКЕ НА ВЕРХНЕМ ПОЯСЕ

1 При сосредоточенной нагрузке на верхнем поясе балке в местах, не укрепленных ребрами, местное напряжение в стенке под грузом σ_{loc} следует определять по формуле

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{t l_{ef}} \le R\gamma_c, \qquad (1)$$

где F - расчетное значение сосредоточенной нагрузки (силы);

t - толщина стенки;

$l_{ef} = c\sqrt{\frac{I_f}{t}}$ - условная длина распределения сосредоточенной нагрузки,

здесь c - коэффициент, принимаемый равным 3,25 для сварных балок и 3,75 для балок клепаных и на высокопрочных болтах;

I_f - момент инерции пояса балки относительно собственной оси.

2 В отсеках, где местная нагрузка приложена к растянутому поясу, одновременно учитываются только два компонента - σ и τ или σ_{loc} и τ.

3 Расчет на устойчивость стенок балок симметричного сечения, укрепленных только поперечными основными ребрами жесткости, при наличии местного напряжения ($\sigma_{loc} \ne 0$) следует выполнять:

а) при $\frac{a}{h_{ef}} \le 0{,}8$ - по формуле

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma}{\sigma_{cr}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr}}\right)^2} \le 0{,}98 \qquad (2)$$

где σ, σ_{loc}, τ - значения, определяемые согласно п. 7.2;

σ_{cr}, τ_{cr} - значения, определяемые по формулам (7.4) и (7.5);

$\sigma_{loc,cr}$ - критическое напряжение смятия стенки под нагрузкой, определяемое по формуле

$$\sigma_{loc,cr} = c_1 \frac{R}{\bar{\lambda}_a^2} \qquad (3)$$

(здесь c_1 - коэффициент, принимаемый по табл. 1 настоящего приложения, $\bar{\lambda}_a = \frac{a}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$);

ν - значения, определяемые согласно указаниям п. 7.5;

б) при $\frac{a}{h} > 0{,}8$ - по формуле (2) настоящего приложения два раза:

при первой проверке σ_{cr} следует определять по формуле

$$\sigma_{cr} = c_2 \frac{R}{\bar{\lambda}_a^2}, \qquad (4)$$

где c_2 - коэффициент, принимаемый по табл. 2 настоящего приложения;

при второй проверке σ_{cr} следует определять по формуле (7.4), а $\sigma_{loc,cr}$ - по формуле (3) настоящего приложения, но с подстановкой в формулу (3) и в табл. 1 величины $\frac{a}{2}$ вместо a.

4 В стенке, укрепленной продольным ребром жесткости, расположенным на расстоянии h_1 от сжатой кромки отсека, обе пластинки, на которые ребро разделяет отсек, следует проверять отдельно.

первую пластинку, расположенную между сжатым поясом и ребром, - по формуле

$$\frac{\sigma}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_{loc}}{\sigma_{loc,cr1}} + \left(\frac{\tau}{\tau_{cr1}}\right)^2 \le 0{,}98, \qquad (5)$$

где

$$\sigma_{cr1} = \frac{1{,}19}{1 - \frac{h_1}{h_{ef}}} \frac{(1+\mu_1^2)^2}{\mu_1^2} \frac{R}{\bar{\lambda}_{a1}^2}; \qquad (6)$$

$$\sigma_{loc,cr1} = 1{,}72 \frac{(1+\mu_1^2)^2}{\mu_1^2} \frac{R}{\bar{\lambda}_{a1}^2}, \qquad (7)$$

здесь $\bar{\lambda}_{a1} = \frac{h_1}{t}\sqrt{\frac{R}{E}}$;

μ_1 - параметр, равный $\frac{a}{h_1}$ при $\frac{a}{h_1} \le 2{,}2$ при $\frac{a}{h_1} > 2{,}2$

τ_{cr1} - значения, определяемые

ЗАКАТМ АПИ
АУЕ ЗАХОВА

формулы (7.5);

τ' - значения, определяемые согласно указаниям п. 7.5;

вторую пластинку, расположенную между растянутым поясом и ребром, - по формуле

$$\left[\frac{\sigma\left(1-\frac{2h}{h_{ef}}\right)}{\sigma_{cr2}}-\frac{\sigma_{loc2}}{\sigma_{loc,cr2}}\right]^2+\left(\frac{\tau}{\tau_{cr2}}\right)^2\le 1, \quad (8)$$

где σ_{cr2}, τ_{cr2} - значения, определяемые соответственно по формулам (7.11) и (7.5);

$\sigma_{loc2}=0{,}4\sigma_{loc}$;

$\sigma_{loc,cr2}$ - значения, определяемые по формуле (3) и табл. 1 настоящего приложения, принимая $\frac{a}{h_{ef}-h_f}$ вместо $\frac{a}{h_{ef}}$.

Если первая пластинка укреплена дополнительно короткими поперечными ребрами, то их следует доводить до продольного ребра. При этом для проверки первой пластинки необходимо применять формулы (5) и (7) настоящего приложения, в которых a заменяется величиной a_1 (где a_1 - расстояние между осями соседних коротких ребер).

Проверка второй пластинки в этом случае остается без изменения.

Таблица 1

Коэффициент c_1

Значения $\frac{a}{h_{ef}}$	0,5	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Коэффициент c_1	11,28	14,52	17,77	21,86	26,80	32,30	38,35	45,00

Обозначения, принятые в табл. 1, - см. п. 7.2.

Таблица 2

Коэффициент c_2

Значения $\frac{a}{h_{ef}}$	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
Коэффициент c_2	33,70	38,77	45,26	53,16	62,18	72,20	83,75	96,16	109,56

Обозначения, принятые в табл. 2, - см. п. 7.2.

Приложение 5
Обязательное

РАСЧЕТ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ И СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Таблица 1

Коэффициенты φ_e для проверки устойчивости внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) сплошностенчатых стержней в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициенты φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}, равном																			
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
0,5	990	980	973	937	905	880	850	920	767	725	657	567	500	445	360	302	257	225	203	182	165
1,0	947	907	872	837	807	778	752	725	680	637	583	505	445	394	323	272	235	205	186	167	151
1,5	880	832	793	758	726	700	670	647	607	570	518	452	398	355	292	247	215	188	171	153	140
2,0	817	765	723	687	656	627	602	580	540	507	463	405	358	320	265	227	197	175	158	142	130
2,5	750	695	652	617	587	560	536	515	482	452	413	362	322	290	242	208	182	162	146	132	121
3,0	677	618	578	545	517	495	472	455	425	400	367	323	290	262	220	192	167	150	135	123	114
3,5	593	542	505	475	453	434	415	398	374	355	325	288	260	236	202	175	155	140	126	116	108
4,0	505	436	435	412	393	378	362	350	327	312	288	257	233	214	184	159	144	130	117	109	101
4,5	425	395	374	356	342	328	315	306	288	275	255	230	210	193	167	146	132	121	110	102	095
5,0	358	338	320	307	295	285	275	268	253	242	227	205	190	175	152	135	123	113	103	096	090
5,5	305	287	276	265	257	248	242	235	225	215	202	185	172	160	140	125	115	105	097	090	085
6,0	257	246	238	230	223	218	215	208	198	192	180	166	155	145	128	115	106	097	090	085	080
6,5	222	212	207	202	197	191	187	183	175	170	161	148	141	132	117	107	097	090	085	[illegible]	[illegible]
7,0	192	187	181	177	172	168	165	161	155	150	145	135	128	120	108	098	090	025	[illegible]	[illegible]	[illegible]
8,0	148	145	142	139	137	134	132	129	126	123	120	112	107	100	091	085	080	077	072	[illegible]	[illegible]
9,0	120	117	115	113	111	110	108	107	105	102	100	094	090	086	080	076	072	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
10,0	097	095	093	092	091	090	086	087	085	084	082	080	077	076	070	067	0621	060	0561	052	048

Примечания 1 Значения коэффициентов φ_e в таблице учтены в 1000 раз

2 Значения φ_e следует принимать не выше значений φ

Таблица 2

Коэффициенты φ_e для проверки устойчивости внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) сквозных стержней в плоскости действия момента совпадающей с плоскостью симметрии

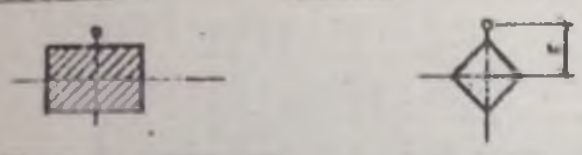
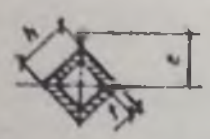
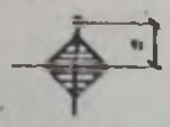
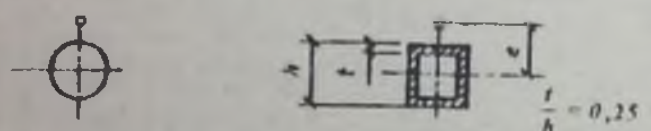
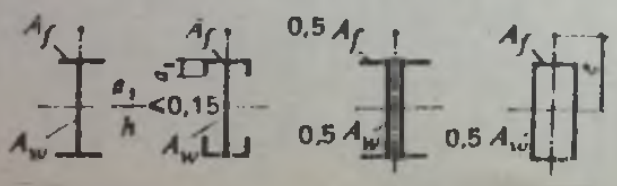
Условная приведенная гибкость $\bar{\lambda}_{ef}$	Коэффициенты φ_e при относительном эксцентриситете m, равном																			
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
0,5	950	888	825	755	718	660	635	605	540	495	436	370	320	282	232	196	170	157	145	122	[illegible]
1,0	882	810	756	693	660	609	582	548	496	453	405	342	296	262	213	182	155	145	130	[illegible]	[illegible]
1,5	872	753	694	643	607	568	534	507	458	420	375	318	275	243	198	170	144	134	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2,0	773	700	640	593	558	523	492	468	423	390	347	294	257	227	185	159	135	125	112	[illegible]	084
2,5	712	637	585	543	508	477	450	427	390	358	320	[illegible]	240	213	173	150	127	117	105	095	[illegible]
3,0	640	575	530	488	458	430	408	387	355	327	294	253	222	197	197	142	121	111	100	[illegible]	075
3,5	565	507	467	432	410	385	365	350	321	297	270	232	206	185	155	133	115	106	095	[illegible]	[illegible]
4,0	490	442	410	382	363	343	327	313	290	269	247	213	190	172	145	125	110	100	[illegible]	[illegible]	[illegible]
4,5	418	382	357	335	320	304	290	280	260	243	223	195	177	160	135	117	105	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
5,0	353	328	309	293	280	268	257	249	233	219	202	178	162	148	127	110	098	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
5,5	300	282	267	255	245	237	228	222	208	197	183	163	150	137	120	105	094	084	[illegible]	[illegible]	[illegible]
6,0	256	242	233	223	216	210	202	197	187	178	166	150	138	128	112	098	090	080	[illegible]	[illegible]	[illegible]
6,5	220	210	205	197	190	185	182	175	167	160	150	136	127	118	103	094	085	076	[illegible]	[illegible]	[illegible]
7,0	192	186	180	175	169	165	162	157	150	145	136	125	117	108	096	090	081	072	[illegible]	[illegible]	[illegible]
8,0	150	145	142	139	135	133	130	127	122	120	112	105	100	092	086	082	072	065	[illegible]	[illegible]	[illegible]
9,0	120	117	115	112	110	108	107	105	101	098	095	090	087	081	077	072	065	058	055	050	048
10,0	097	096	095	093	092	091	090	087	085	083	082	080	076	071	068	064	057	052	048	044	[illegible]

Примечания 1 Значения коэффициентов φ_e в таблице учтены в 1000 раз

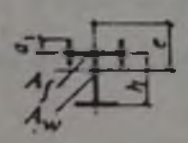
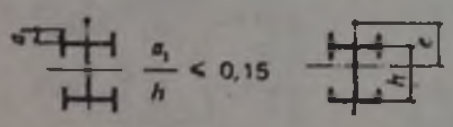
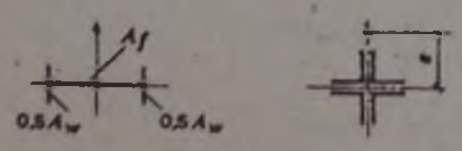
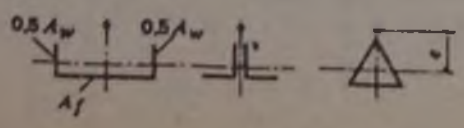
2 Значения φ_e следует принимать не выше значений φ

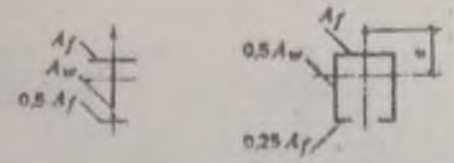
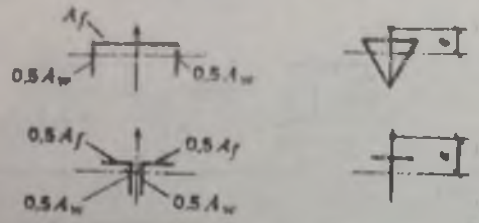
Таблица 3

Коэффициенты влияния формы сечения η

Тип сечения	Схема сечения	Отношение $\frac{A_f}{A_w}$	Коэффициенты η при $0 \le \bar{\lambda} \le 5$: $0,1 \le m \le 5$	$0 \le \bar{\lambda} \le 5$: $5 < m \le 20$	$\bar{\lambda} > 5$: $0,1 \le m \le 5$	$\bar{\lambda} > 5$: $5 < m \le 20$
1			1,0	1,0	1,0	
2	 $\frac{t}{h} = 0,25$		0,85	0,85	0,95	
3			$0,75 + 0,02\bar{\lambda}$	$0,75 + 0,02\bar{\lambda}$	0,85	
4	 $\frac{t}{h} = 0,25$		$(1,35 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$	1,1	1,1	
5	 $\frac{a_1}{h} < 0,15$	0,25 0,5 1,0	$(1,45 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$ $(1,75 - 0,1m) - 0,02(5 - m)\bar{\lambda}$ $(1,90 - 0,1m) - 0,02(6 - m)\bar{\lambda}$	1,2 1,25 $1,4 - 0,02\bar{\lambda}$	1,2 1,25 1,3	

Продолжение табл. 3

Тип сечения	Схема сечения	Отношение $\frac{A_f}{A_w}$	Коэффициенты η при $0 \le \bar{\lambda} \le 5$: $0,1 \le m \le 5$	$0 \le \bar{\lambda} \le 5$: $5 < m \le 20$	$\bar{\lambda} > 5$: $0,1 \le m \le 5$	$\bar{\lambda} > 5$: $5 < m \le 20$
6	 $\frac{a_1}{h} < 0,15$		$\eta_1\left[1 - 0,3(5 - m)\frac{a_1}{h}\right]$	η_1	η_1	
7	 $\frac{a_1}{h} < 0,15$		$\eta_1\left(1 - 0,8\frac{a_1}{h}\right)$	$\eta_1\left(1 - 0,8\frac{a_1}{h}\right)$	$\eta_1\left(1 - 0,8\frac{a_1}{h}\right)$	
8		0,25 0,5 1,0	$(0,75 + 0,05m) + 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$ $(0,5 + 0,1m) + 0,02(5 - m)\bar{\lambda}$ $(0,25 + 0,15m) + 0,03(5 - m)\bar{\lambda}$	1,0 1,0 1,0	1,0 1,0 1,0	
9		0,5 1,0	$(1,25 - 0,05m) - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$ $(1,5 - 0,1m) - 0,02(5 - m)\bar{\lambda}$	1,0 1,0	1,0 1,0	

Тип сечения	Схема сечения	Отношение $\frac{A_f}{A}$	Коэффициенты η при $0 \le \bar{\lambda} \le 5$, $0,1 \le m \le 5$	Коэффициенты η при $0 \le \bar{\lambda} \le 5$, $5 < m \le 20$	Коэффициенты η при $\bar{\lambda} > 5$, $0,1 \le m \le 5$	Коэффициенты η при $\bar{\lambda} > 5$, $5 < m \le 20$
5		0,5	1,4	1,4	1,4	1,4
		1,0	$1,6 - 0,01(5 - m)\bar{\lambda}$	1,6	1,35 + 0,05m	1,6
		2,0	$1,8 - 0,02(5 - m)\bar{\lambda}$	1,8	1,3 + 0,1m	1,8
6		0,5	1,45 + 0,04m	1,65	1,45+0,04m	1,65
		1,0	1,8 + 0,12m	2,4	1,8+0,12m	2,4
		1,5	$2,0 + 0,25m + 0,1\bar{\lambda}$	-	-	-
		2,0	$3,0 + 0,25m + 0,1\bar{\lambda}$	-	-	-

Примечания: 1. Для сечений типов 5 - 7 при подсчете отношения $\frac{A_f}{A}$ площадь вертикальных элементов полок учитывать не следует.

2. Для сечений типов 6 и 7 значения η следует принимать равными значениям η для сечений типа 5 при отношениях $\frac{A_f}{A}$ для сечений типов 6 и 7.

Таблица 4

Приведенные относительные эксцентриситеты m_{ef} для стержней с шарнирно-опертыми концами

Отношение $\delta = \frac{M_2}{M_1}$	$\bar{\lambda}$	Приведенные относительные эксцентриситеты m_{ef} при $m_{ef} = \eta \frac{M_1}{N} \frac{A}{W_c}$, равном									
		0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	7,0	10,0	20,0
$\delta = -1,0$	1	0,10	0,30	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,17	0,39	0,68	1,03	1,80	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,10	0,22	0,36	0,55	1,17	1,95	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,10	0,10	0,18	0,30	0,57	1,03	1,78	3,35	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,23	0,48	0,95	2,18	4,40	13,40
	6	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,15	0,18	0,40	1,25	3,00	11,40
	7	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,50	1,70	9,50
$\delta = -0,5$	1	0,10	0,31	0,68	1,12	1,60	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,22	0,46	0,73	1,05	1,88	2,75	3,72	5,65	8,60	18,50
	3	0,10	0,17	0,36	0,58	0,80	1,33	2,00	2,77	4,60	7,40	17,20
	4	0,10	0,14	0,32	0,49	0,66	1,05	1,52	2,22	3,50	5,90	15,40
	5	0,10	0,10	0,26	0,41	0,57	0,95	1,38	1,80	2,95	4,70	13,40
	6	0,10	0,16	0,28	0,40	0,52	0,95	1,25	1,60	2,50	4,00	11,50
	7	0,10	0,22	0,32	0,42	0,55	0,95	1,10	1,35	2,20	3,50	10,80
$\delta = 0$	1	0,10	0,32	0,70	1,12	1,60	2,62	3,55	4,65	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,28	0,60	0,90	1,28	1,96	2,75	3,72	5,65	8,40	18,50
	3	0,10	0,27	0,55	0,84	1,15	1,75	2,43	3,17	4,80	7,40	17,20
	4	0,10	0,26	0,52	0,78	1,10	1,66	2,20	2,83	4,00	6,30	15,40
	5	0,10	0,25	0,52	0,78	1,10	1,55	2,10	2,78	3,85	5,90	14,50
	6	0,10	0,28	0,52	0,78	1,10	1,55	2,00	2,70	3,60	5,65	13,80
	7	0,10	0,32	0,52	0,78	1,10	1,55	1,90	2,60	3,75	5,50	13,00
$\delta = 0,5$	1	0,10	0,40	0,80	1,23	1,68	2,62	3,55	4,55	6,50	9,40	19,40
	2	0,10	0,40	0,78	1,20	1,60	2,30	3,15	4,10	5,85	8,60	18,50
	3	0,10	0,40	0,77	1,17	1,55	2,30	3,10	3,90	5,55	8,13	18,06
	4	0,10	0,40	0,75	1,13	1,55	2,30	3,05	3,80	5,30	7,60	17,50
	5	0,10	0,40	0,75	1,10	1,55	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	17,00
	6	0,10	0,40	0,75	1,10	1,50	2,30	3,00	3,80	5,30	7,60	16,50
	7	0,10	0,40	0,75	1,10	1,40	2,30	3,00	3,20	5,30	7,60	16,06

Приложение 6
Обязательное

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА φ_b ДЛЯ ПРОВЕРКИ ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ БАЛОК

1 Для балок двутаврового сечения с двумя осями симметрии для определения коэффициента φ_b необходимо вычислить коэффициент φ_1 по формуле

$$\varphi_1 = 1,13\psi \frac{I_x}{I_x} \left(\frac{h}{l_{ef}} \right)^2 \frac{E}{R_y} \qquad (1)$$

где ψ – коэффициент, определяемый по табл. 1 и 2 настоящего приложения в зависимости от характера нагрузки и параметра α.

Для прессованных двутавров параметр α следует вычислять по формуле

$$\alpha = 1,54 \frac{I_1}{I_x} \left(\frac{l_{ef}}{h} \right)^2 \qquad (2)$$

где $I_t = 0.42\Sigma b_i t_i^3$ - момент инерции при кручении (здесь b_i и t_i - соответственно ширина и толщина прямоугольников, образующих сечение);

l_{ef} - расчетная длина балки, определяемая согласно п. 5.13.

При наличии утолщений круглого сечения (бульб)

$$I_t = 0.42\Sigma b_i t_i^3 + n\frac{\pi D^4}{32},$$

где D - диаметр бульб;

n - число бульб в сечении.

Для сварных и клепаных двутавровых балок при отсутствии отбортовок, утолщений по краям и значительных утолщений в углах параметр α следует определять по формуле

$$\alpha = \delta\left(\frac{lt_f}{b_f h}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{at^3}{b_f t_f^3}\right), \quad (3)$$

где

для сварных и прессованных двутавровых балок

t_f, b_f - соответственно толщина и ширина пояса балки;

$a = 0{,}5h$;

для клепаных двутавровых балок

t_f - сумма толщин листов пояса и горизонтальной полки поясного уголка;

b_f - ширина листов пояса;

h - расстояние между осями пакета поясных листов;

a - сумма высоты вертикальной полки поясного уголка с толщиной пакета горизонтальных листов;

t - сумма толщин стенки и вертикальных поясных уголков.

Значение коэффициента φ_b в формуле (5.24) норм необходимо принимать:

при $\varphi_f \le 0{,}667$ $\varphi_b = \varphi_f$;

при $\varphi_f > 0{,}667$ $\varphi_b = 0{,}5 + 0{,}25\varphi_f$ для алюминия всех марок за исключением АМг2Н2, АД31Т1 и АД31Т5, и $\varphi_b = \varphi_f$, но не более 1,0 - для алюминия марок АМг2Н2, АД31Т1 и АД31Т5.

Таблица 1

Коэффициенты ψ для балок двутаврового сечения с двумя осями симметрии

Коэффициент α	Коэффициенты ψ				
	для балок без закрепления в пролете				при наличии не менее двух промежуточных закреплений верхнего пояса, делящих пролет на равные части, независимо от места приложения нагрузки
	при сосредоточенной нагрузке, приложенной к поясу		при равномерно распределенной нагрузке, приложенной к поясу		
	верхнему	нижнему	верхнему	нижнему	
1	2	3	4	5	6
0,1	0,98	2,8	0,91	2,14	1,20
0.4	0,98	2,84	0,91	2,14	1,23
1,0	1,05	2,87	0,95	2,17	1,26
4,0	1,26	3,05	1,12	2,35	1,44
8,0	1,47	3,29	1,30	2,56	1,65
16,0	1,89	3,75	1,68	2,94	1,96
24,0	2,24	4,10	2,00	3,22	2,24
32,0	2,56	4,45	2,28	3,50	2,49
48,0	3,15	4,97	2,73	3,99	2,91
64,0	3,64	5,50	3,15	4,45	3,33
80,0	4,10	5,95	3,50	4,80	3,64
96,0	4,48	6,30	3,89	5,15	3,96
128,0	5,25	7,04	4,48	5,78	4,50
160,0	5,92	7,77	5,04	6,30	5,01
240,0	7,35	9,17	6,30	7,56	6,09
320,0	8,54	10,40	7,32	8,40	7,00
400,0	9,63	11,48	8,16	9,38	7,77

Продолжение табл. 1

Примечание. При одном закреплении балки в середине пролета необходимо учитывать следующие случаи:
при сосредоточенной силе в середине пролета (независимо от уровня приложения) $\psi=1,75\psi_1$;
при сосредоточенной силе в четверти пролета или равномерно распределенной нагрузке, приложенной к верхнему поясу, $\psi=1,14\psi_1$;
при сосредоточенной силе в четверти пролета, приложенной к нижнему поясу, $\psi=1,6\psi_1$;
при равномерно распределенной нагрузке по нижнему поясу $\psi=1,3\psi_1$.
Здесь значение ψ_1 следует принимать по гр. 6 (при наличии не менее двух промежуточных закреплений).

Таблица 2

Коэффициенты ψ для консолей двутаврового сечения с двумя осями симметрии

Коэффициент α	Коэффициенты ψ при нагрузке, приложенной к поясу	
	верхнему	нижнему
4	0,875	3,640
6	1,120	3,745
8	1,295	3,850
10	1,505	3,920
12	1,680	4,025
14	1,855	4,130
16	2,030	4,200
24	2,520	4,550
32	2,975	4,830
40	3,290	5,040
100	5,040	6,720

2 Для балок двутаврового сечения с одной осью симметрии (с развитым верхним поясом; см. чертеж) для определения коэффициента φ_b необходимо вычислить коэффициенты φ_1 и φ_2 по формулам:

$$\varphi_1 = 1,41\psi\frac{I_y}{I_x}\frac{2\zeta hh_1}{I_{xf}^2}\frac{E}{R}; \quad (4)$$

$$\varphi_2 = 1,41\psi\frac{I_y}{I_x}\frac{2\zeta hh_2}{I_{xf}^2}\frac{E}{R}; \quad (5)$$

$$\psi = 2,6\left[\sqrt{(0,5\bar{y}_1+\beta_y)^2+c^2}+(0,5\bar{y}_1+\beta_y)\right]. \quad (6)$$

В формулах (4) - (6):

ζ - коэффициент, зависящий от вида нагрузки и принимаемый по табл. 3 настоящего приложения;

h_1, h_2 - размеры (см. чертеж);

$\bar{y}_1 = \frac{y_1}{h}$ - относительная координата точки приложения нагрузки со своим знаком (см. чертеж);

$$\beta_y = \left[0,43-0,065\left(\frac{b_1}{h}\right)^2\right](2n-1);$$

здесь $n = \frac{I_1}{I_1+I_2}$

(I_1, I_2 - моменты инерции соответственно сжатого и растянутого поясов относительно оси симметрии сечения);

$$c^2 = \frac{I}{I_y}\left(\frac{I_1 I_2}{I_y}+0,04\frac{I_t^2}{h^2}\right);$$

I_t - момент инерции при кручении [см. обозначения к формуле (2) настоящего приложения].

Значения коэффициента φ_b в формуле (5.24) норм необходимо принимать:

при $\varphi_2 \le 0,667$ $\varphi_b = \varphi_1$.

при $\sigma_2 / \sigma_1 > 0,05$

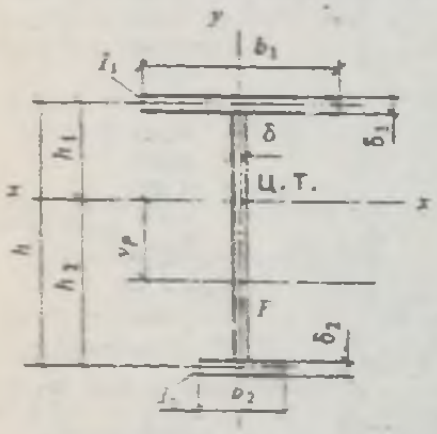
$$\varphi_b = \varphi_1 \left[0,5 + 0,25 \left(\frac{n}{\varphi_1} + \frac{1-n}{\varphi_2} \right) \right] \quad \text{для}$$

алюминия всех марок за исключением АМг2Н2, АД31Т1 и АД31Т5, для которых φ_2 вычисляется по формуле (5) настоящего приложения и принимается не более 1,0.

Таблица 3

Коэффициент ζ в формуле (4) настоящего приложения

Вид нагрузки	Чистый изгиб	Равномерно распределенная нагрузка	Сосредоточенная сила в середине пролета	Момент на одном конце балки
Коэффициент ζ	1,00	1,12	1,35	1,75



Поперечное сечение балки с развитым верхним поясом

3 Устойчивость балок швеллерного сечения следует проверять так же, как балок двутаврового сечения, при этом c вычислять по формуле (2) настоящего приложения, найденные значения φ_b умножать на коэффициент 0,7.

Значения I_x, I_y и I_t в формулах (1) и (2) настоящего приложения следует принимать для швеллера.

Приложение 7
Рекомендуемое

РАСЧЕТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ НАКЛОННЫХ ГРАНЕЙ ЛИСТОВ С ТРАПЕЦИЕВИДНЫМ ГОФРОМ

Наклонные грани листов с трапециевидным гофром (см. черт. 8.4) в местах опирания на прогоны или ригели рекомендуется проверять на местную устойчивость по формуле (2) обязательного приложения 4 с заменой коэффициента $\gamma_c = 0,9$ на $\gamma_c = 0,7$. При этом значения напряжения τ и критических напряжений $\sigma_{loc,cr}$, τ_{cr}, σ_{cr} следует определять по формулам:

$$\tau = \frac{Q}{2bt}; \qquad (1)$$

$$\sigma_{loc,cr} = \frac{7,25R}{\bar{\lambda}_b^2}; \qquad (2)$$

$$\tau_{cr} = \frac{8,25R_s}{\bar{\lambda}_b^2}; \qquad (3)$$

$$\sigma_{cr} = \frac{3,6R}{\bar{\lambda}_b^2} \left[1 + 1,4 \left(1 - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} \right)^2 \right]; \qquad (4)$$

$$\bar{\lambda}_b = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{R}{E}}; \qquad (5)$$

где σ_1, σ_2 - нормальные напряжения соответственно у верхней и нижней границ наклонной грани листа, взятые со своими знаками;

b - размер наклонной грани, принимаемый по черт. 8.4;

Q - поперечная сила в пло-

верняемом сечении волны листа.

Кроме наклонных граней необходимо проверять на устойчивость горизонтальные сжатые грани профилированного листа, при этом местные напряжения σ_{loc} следует определять с учетом ослабления сечения по формуле

$$\sigma_{loc} = \frac{F}{2t(b_f + 2r)\sin\alpha}, \qquad (6)$$

где F - опорная реакция, приходящаяся на одну волну листа;

b_f - ширина полки прогона или ригеля;

r - радиус сочленения наклонной и горизонтальной граней листа;

α - угол наклона грани (см. черт.4).

Приложение 8
Обязательное

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

A - площадь сечения брутто;

A_n - площадь сечения нетто;

E - модуль упругости;

F - сила;

G - модуль сдвига;

I_b, I_d - моменты инерции сечений пояса и раскоса фермы;

I_s - момент инерции сечения ребер;

I_t - момент инерции кручения балки;

I_x, I_y - момент инерции сечения брутто относительно осей соответственно x-x и y-y;

I_{xn}, I_{yn} - момент инерции сечения нетто относительно осей соответственно x-x и y-y;

M - момент, изгибающий момент;

M_x; M_y - моменты относительно осей соответственно x-x и y-y;

N - продольная сила;

Q - поперечная сила;

Q_{fic} - условная поперечная сила для соединительных элементов;

R - расчетное сопротивление алюминия растяжению, сжатию, изгибу;

R_{wm} - расчетное сопротивление соединений, выполненных контактной роликовой сваркой;

R_{bp} - расчетное сопротивление смятию болтовых соединений;

R_{bs} - расчетное сопротивление срезу болтов;

R_{bt} - расчетное сопротивление растяжению болтов;

R_p - расчетное сопротивление алюминия смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки);

R_s - расчетное сопротивление алюминия сдвигу;

R_{th} - расчетное сопротивление растяжению алюминия в направлении толщины прессованного полуфабриката;

R_w - расчетное сопротивление стыковых сварных соединений растяжению, сжатию и изгибу;

R_{ws} - расчетное сопротивление стыковых сварных соединений сдвигу;

R_{wf} - расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва;

R_{wz} - расчетное сопротивление алюминия в околошовной зоне;

S - статический момент сдвигаемой части сечения брутто относительно нейтральной оси;

W_x; W_y - моменты сопротивления сечения брутто относительно осей соответственно x-x и y-y;

W_{xn}; W_{yn} - моменты сопротивления сечения нетто относительно осей соответственно x-x и y-y;

b - ширина;

e - эксцентриситет силы;

h - высота;

h_{ef} - расчетная высота стенки;

i - радиус инерции сечения;

i_{min} - наименьший радиус инерции сечения;

i_x; i_y - радиусы инерции сечения относительно осей соответственно x-x и y-y;

k_f - катет углового шва;

l - длина, пролет, расстояние;

l_b - длина стойки;

l_c - длина раскоса;

l_{ef} - расчетная, условная длина;

l_m - длина панели пояса фермы или колонны;

l_w - длина сварного шва;

$l_x; l_y$ - расчетные длины элемента в плоскостях, перпендикулярных осями соответственно *x-x* и *y-y*;

m - относительный эксцентриситет $\left(m = eA/W_c\right)$;

m_{ef} - приведенный относительный эксцентриситет ($m_{ef} = m\eta$);

r - радиус;

t - толщина;

t_w - толщина стенки;

γ_c - коэффициент условий работы;

γ_n - коэффициент надежности по назначению;

γ_m - коэффициент надежности по материалу;

γ_w - коэффициент надежности в расчетах по временному сопротивлению;

η - коэффициент влияния формы сечения;

λ - гибкость $\left(\lambda = l_{ef}/i\right)$;

$\bar{\lambda}$ - условная гибкость $\left(\bar{\lambda} = \lambda\sqrt{R_y/E}\right)$;

λ_{ef} - приведенная гибкость стержня сквозного сечения;

$\bar{\lambda}_{ef}$ - условная приведенная гибкость стержня сквозного сечения $\left(\bar{\lambda}_{ef} = \lambda_{ef}\sqrt{R_y/E}\right)$;

$\bar{\lambda}_w$ - условная гибкость стенки $\left(\bar{\lambda}_w = \frac{h}{t}\sqrt{R_y/E}\right)$;

$\lambda_x; \lambda_y$ - расчетные гибкости элемента в плоскостях, перпендикулярных осям соответственно *x-x* и *y-y*;

ν - коэффициент поперечной деформации алюминия (Пуассона);

σ_{loc} - местное напряжение;

$\sigma_x; \sigma_y$ - нормальное напряжение, параллельные осям соответственно *x-x* и *y-y*;

τ_x, τ_y - касательные напряжения по осям соответственно *x-x* и *y-y*;

φ_x, φ_y - коэффициенты продольного изгиба соответственно относительно осей *x-x* или *y-y*;

φ_b - коэффициент устойчивости при изгибе балок

φ_c - коэффициент устойчивости при изгибе балок

СОДЕРЖАНИЕ

	стр
1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	2
3 Основные принципы обеспечения надежности, безопасности, долговечности и экономичности конструкций	2
4 Материалы для конструкций и соединений и принципы определения их расчетных характеристик	3
5 Расчет элементов алюминиевых конструкций на осевые силы и изгиб	6
Центрально-растянутые и центрально-сжатые элементы	6
Изгибаемые элементы	10
Элементы, подверженные действию осевой силы с изгибом	11
6 Расчетная длина и предельная гибкость элементов алюминиевых конструкций	15
Расчетная длина	15
Предельная гибкость элементов	20
7 Проверка устойчивости стенок и поясных листов изгибаемых и сжатых элементов	20
Стенки балок	20
Стенки центрально-, внецентренносжатых и сжато-изгибаемых элементов	22
Поясные листы и полки центрально-, внецентренносжатых сжато-изгибаемых и изгибаемых элементов	24
8 Расчет элементов конструкций с применением тонколистового алюминия	27
Элементы, работающие на сжатие и изгиб	27
Элементы мембранных конструкций	31
9 Расчет соединений конструкций из алюминиевых сплавов	31
Сварные соединения	31
Заклепочные и болтовые соединения	32
Монтажные соединения на высокопрочных стальных болтах	33
Соединения с фрезерованными торцами	34
Поясные соединения в составных балках	34
Анкерные болты	34
10 Проектирование алюминиевых конструкций	34
Общие указания	34
11 Конструктивные требования	38
Общие указания	38
Конструирование сварных соединений	38
Конструирование болтовых и заклепочных соединений	39
Приложение 1. Обязательное. Нормативные ссылки	41
Приложение 2. Обязательное. Физические и расчетные характеристики алюминия	41
Приложение 3. Обязательное. Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов	47
Приложение 4. Обязательное. Расчет на устойчивость стенок балок при местной нагрузке на верхнем поясе	49
Приложение 5. Обязательное. Расчет внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов	51
Приложение 6. Обязательное. Определение коэффициента φ_b для проверки общей устойчивости	55
Приложение 7. Рекомендуемое. Расчет на устойчивость наклонных граней листов с трапециевидным гофром	58
Приложение 8. Обязательное. Основные буквенные обозначения величин	59

Отзывы и предложения просим направлять в
Госкомархитектстрой Республики Узбекистан
(700011, г.Ташкент, ул.Абая, 6)

Подготовлен к изданию ИВЦ "АКАТМ"

НАБРАНО НА КОМПЬЮТЕРЕ В ИВЦ „АКАТМ"

Подписано к печати 18.02.97г. Формат 60x84/16
Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л.
Тираж 500. Заказ 277

Типография Главгидромета. Ташкент, Махсумова, 72

