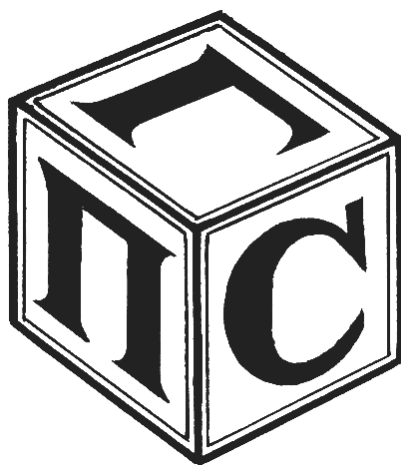


МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Промышленное и гражданское строительство»

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию
для студентов специальности
1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2022

УДК 624.014
ББК 38.54
М54

Рекомендовано к изданию
учебно-методическим отделом
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
«15» февраля 2022 г., протокол № 8

Составители: канд. техн. наук, доц. В. С. Михальков;
И. И. Мельянцова

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Голушкова

В методических рекомендациях изложены основы проектирования строительных конструкций, включающие основные требования, принципы и классификацию воздействий, а также справочные материалы по расчету металлических конструкций и их соединений, сортамент профилей и листового проката.

Учебно-методическое издание

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

Ответственный за выпуск	С. В. Данилов
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 81. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования
«Белорусско-Российский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/156 от 07.03.2019.
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский
университет, 2022

Содержание

1 Основы проектирования строительных конструкций.....	4
1.1 Основные требования.....	4
1.2 Принципы проверок предельных состояний.....	4
1.3 Воздействия на строительные конструкции.....	5
1.4 Классификация воздействий.....	8
2 Общие вопросы расчета металлических конструкций.....	16
2.1 Расчетные характеристики свойств материалов и соединений.....	16
2.2 Материалы для стальных конструкций.....	18
3 Расчеты на устойчивость.....	20
4 Сварные соединения.....	30
5 Болтовые соединения.....	34
6 Сортамент.....	38
Список литературы.....	43

1 Основы проектирования строительных конструкций

1.1 Основные требования

Конструкции следует проектировать и изготавливать таким образом, чтобы они в течение предусмотренного срока эксплуатации с требуемым уровнем надежности и без необоснованных экономических затрат:

- воспринимали все воздействия и влияния, которые могут возникнуть в процессе возведения и эксплуатации;
- удовлетворяли установленным требованиям эксплуатационной пригодности конструкции или элемента конструкции.

Конструкции следует проектировать так, чтобы были обеспечены необходимые:

- несущая способность;
- эксплуатационная пригодность;
- долговечность.

В случае пожара несущая способность конструкции должна быть обеспечена для требуемого промежутка времени.

Конструкции следует проектировать и возводить таким образом, чтобы при наступлении таких событий, как взрыв, удар, последствия совершенных человеком ошибок, они не получали повреждений, размеры которых будут непропорционально большими по отношению к первоначальной причине.

Потенциальные повреждения следует исключать или ограничивать соответствующим выбором одной или нескольких из перечисленных мер:

- исключением, предотвращением или снижением риска возникновения угроз, которым может быть подвергнута конструкция;
- выбором конструктивных систем, имеющих низкую восприимчивость к рассматриваемым угрозам;
- выбором конструктивных систем и методов их расчета, обеспечивающих необходимую живучесть при внезапном удалении отдельного элемента или ограниченной части конструкции;
- исключением, по возможности, конструктивных систем, которые имеют тенденцию к внезапному обрушению без предварительных признаков;
- надежным соединением элементов конструкции между собой.

Выполнение основных требований должно обеспечиваться:

- выбором соответствующих материалов;
- соответствующим расчетом и конструированием;
- установлением контрольных процедур при проектировании, изготовлении, возведении и эксплуатации, характерных для конкретного проекта.

1.2 Принципы проверок предельных состояний

Различают предельные состояния несущей способности и эксплуатационной пригодности [1].

Проверку одного из двух предельных состояний допускается не производить при условии, что доступна достаточно полная информация, доказывающая, что при выполнении требований одного предельного состояния также выполняются требования другого предельного состояния.

Предельные состояния следует относить к расчетным ситуациям. Расчетные ситуации классифицируются как постоянные, переходные и особые.

Проверку предельных состояний, связанных с эффектами, зависящими от времени (например, выносливость), производят для проектного срока эксплуатации конструкции.

Расчетные ситуации классифицируются следующим образом:

- постоянные расчетные ситуации, относящиеся к обычным условиям эксплуатации;
- переходные расчетные ситуации, относящиеся к временным условиям, применимым к конструкции, например, в процессе возведения или ремонта;
- особые расчетные ситуации, относящиеся к исключительным условиям, применимым к конструкции или условиям окружающей среды, например, пожар, ударное воздействие или последствия местного разрушения;
- сейсмические расчетные ситуации, относящиеся к условиям, применимым к конструкции, подвергающейся сейсмическим воздействиям.

Предельные состояния, касающиеся безопасности людей и/или безопасности конструкций, классифицируются как *предельные состояния несущей способности*.

Предельные состояния, относящиеся к функционированию конструкции или элементов конструкции при нормальных условиях эксплуатации; комфорту пользователей; внешнему виду строительных объектов, классифицируются как *предельные состояния эксплуатационной пригодности*.

1.3 Воздействия на строительные конструкции

Воздействия в зависимости от их изменения во времени классифицируются следующим образом:

- постоянные воздействия G , например, собственный вес конструкций, стационарного оборудования, дорожного покрытия и косвенные воздействия, обусловленные действием усадки и неравномерных осадок;
- переменные воздействия Q , например, полезные нагрузки на перекрытия зданий, балки и покрытия, ветровые воздействия и снеговые нагрузки;
- особые воздействия A , например, взрывы или удары транспортных средств.

Расчетное значение F_d воздействия в общем случае может быть представлено выражением

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep} \text{ при } F_{rep} = \psi \cdot F_k, \quad (1.1)$$

где γ_f – частный коэффициент для воздействия, учитывающий возможность неблагоприятных отклонений значений воздействий от репрезентативных значений;

F_k – характеристическое значение воздействия;

F_{rep} – соответствующее репрезентативное значение воздействия;

ψ – коэффициент, равный 1,0 или ψ_0 , ψ_1 или ψ_2 (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Рекомендуемые значения коэффициентов ψ

Воздействие	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Полезные переменные нагрузки для зданий:			
категория <i>A</i> : жилые помещения	0,7	0,5	0,3
категория <i>B</i> : офисные помещения	0,7	0,5	0,3
категория <i>C</i> : помещения со значительным скоплением людей	0,7	0,7	0,6
категория <i>D</i> : торговые помещения	0,7	0,7	0,6
категория <i>E</i> : складские помещения	1,0	0,9	0,8
категория <i>F</i> : места с движением транспорта весом (массой) до 30 кН включ.	0,7	0,7	0,6
категория <i>G</i> : места с движением транспорта весом (массой) св. 30 до 160 кН включ.	0,7	0,5	0,3
категория <i>H</i> : кровли	0	0	0
Снеговые нагрузки на здания	0,6	0,5	0
Ветровые нагрузки	0,6	0,2	0
Температурные нагрузки (исключая пожары)	0,6	0,5	0

Следует выполнять проверку следующих предельных состояний несущей способности:

а) EQU: потеря статического равновесия конструкции или любой ее части, рассматриваемой как жесткое тело;

б) STR: внутреннее разрушение или чрезмерные деформации конструкции или элементов конструкции, включая фундаменты, сваи, подпорные стенки и т. д., для которых прочность материалов имеет определяющее значение;

в) GEO: разрушение или чрезмерные деформации основания, для которых прочность основания или скальной породы имеет определяющее значение для обеспечения несущей способности конструкции;

г) FAT: усталостное разрушение конструкции или элементов конструкции;

д) UPL: потеря устойчивости сооружения или основания из-за увеличения давления воды (взвешивающего действия) или других вертикальных воздействий.

Расчетные значения воздействий следует принимать в соответствии с [1, приложение A1].

Для каждого критического случая нагружения расчетные значения эффектов воздействий E_d следует определять, применяя сочетания воздействий, которые рассматриваются как действующие одновременно.

Каждое сочетание воздействий включает доминирующее переменное воздействие или особое воздействие.

Расчетные значения воздействий при проверках предельных состояний несущей способности в постоянных и переходных расчетных ситуациях определяются как

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (1.2)$$

$$\begin{cases} \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot \Psi_{0,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}, \end{cases} \quad (1.3)$$

где $G_{k,j}$ – характеристическое значение постоянного воздействия;

$Q_{k,i}$ – характеристическое значение сопутствующего переменного воздействия;

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение доминирующего переменного воздействия;

$\gamma_{G,j}, \gamma_{Q,i}$ – частные коэффициенты для постоянного и переменного воздействия соответственно;

$\Psi_{0,i}$ – коэффициент для комбинационного значения переменного воздействия;

ξ – понижающий коэффициент для неблагоприятного постоянного воздействия G .

Расчетные значения воздействий для предельных состояний несущей способности в постоянных и переходных расчетных ситуациях (см. формулы (1.2) и (1.3)) принимаются в соответствии с [1, таблица А1.2(А)–А1.2(С)].

Для проверки предельного состояния эксплуатационной пригодности (SLS) следует выполнить проверку условия

$$E_d \leq C_d, \quad (1.4)$$

где C_d – предельное расчетное значение соответствующего критерия эксплуатационной пригодности;

E_d – расчетное значение эффектов воздействий в единицах критериев эксплуатационной пригодности, определяемое при соответствующих сочетаниях воздействий.

Сочетания воздействий для предельных состояний эксплуатационной пригодности определяются следующими выражениями:

– характеристическое сочетание

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (1.5)$$

– частое сочетание

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} ; \quad (1.6)$$

– практически постоянное сочетание

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} . \quad (1.7)$$

Определение предельных состояний эксплуатационной пригодности для зданий рекомендуется производить, используя такие критерии, как, например, жесткость перекрытия и покрытия, разница уровней перекрытий, перемещение уровня этажей и/или перемещение здания. Критериями жесткости могут быть предельные значения вертикальных перемещений или колебаний. Критериями горизонтальных перемещений могут быть их предельные значения.

1.4 Классификация воздействий

1.4.1 Собственный вес.

Собственный вес конструкции следует классифицировать как постоянное фиксированное (стационарное) воздействие.

Собственный вес конструкций в большинстве случаев следует представлять одним характеристическим значением, рассчитанным на основании номинальных размеров и характеристических значений объемного веса. Номинальные значения объемного веса строительных материалов и номинальные значения объемного веса и углов естественного откоса складированных материалов представлены в [2, приложение А].

1.4.2 Функциональные нагрузки.

Функциональные нагрузки на здания являются нагрузками, которые определяются использованием здания по назначению. Они учитывают:

- нормальную эксплуатацию людьми;
- мебель и перемещаемые предметы (например, перемещаемые перегородки, складированные предметы, содержимое емкостей);
- транспортные средства;
- прогнозируемые редкие события, такие как концентрация (скопление) людей или мебели, перемещение или скопление предметов, которые могут появляться в процессе реконструкции или ремонта.

Функциональные нагрузки, указанные в данной части, моделируются равномерно распределенными нагрузками по площади, по длине или сосредоточенными нагрузками, или сочетаниями этих нагрузок.

Для определения функциональных нагрузок площади покрытий и перекрытий в зданиях должны быть разделены на категории согласно их использованию (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Категории использования

Категория	Функциональное использование	Пример
А	Площади жилых помещений	Комнаты в жилых зданиях и домах, палаты и приемные покои в больницах, спальные комнаты в гостиницах, кухни и туалеты в отелях
В	Площади офисных помещений	–
С	Площади с возможным скоплением людей (за исключением площадей, определенных категориями А, В и D)	С1: площади со столами и т. д., например: площади в школах, кафе, ресторанах, столовых (обеденных залах), читальных залов библиотек, приемных, регистратурах С2: площади со стационарно закрепленными сидениями, например: площади в церквях, кинотеатрах, конференц-залах, аудиториях, залах для собраний, залах ожидания на станциях С3: площади без преград, препятствующих перемещению людей, например: площади в музеях, выставочных залах, площади общего доступа в административных зданиях, гостиницах, больницах, перроны железнодорожных станций С4: площади с возможностью использования их для физической активности, например: танцевальные залы, спортивные (гимнастические) залы, сцены С5: площади, на которых допускается большое скопление людей, например: в зданиях для общественных мероприятий, таких как концертные залы, спортивные залы с трибунами, террасы, зоны доступа и железнодорожные платформы
Д	Торговые площади	D1: площади в магазинах розничной торговли D2: площади в торговых домах-маркетах

При проектировании следует применять характеристические значения q_k (равномерно распределенная нагрузка) и Q_k (сосредоточенная нагрузка) для категорий использования площади, указанных в таблице 1.3. Функциональные нагрузки на перекрытия от складирования представлены в таблице 1.4.

1.4.3 Снеговые нагрузки.

Согласно [3] для постоянных/переходных расчетных ситуаций характеристические снеговые нагрузки на покрытия следует определять по формуле

$$S = \mu_i C_e C_t s_k, \quad (1.8)$$

где μ_i – коэффициент формы снеговых нагрузок;

s_k – характеристическое значение снеговых нагрузок на грунт;

C_e – коэффициент окружающей среды;

C_t – температурный коэффициент.

Таблица 1.3 – Функциональные нагрузки на перекрытия, балконы и лестницы в зданиях

Категория нагруженных площадей	q_k , кН/м ²	Q_k , кН
Категория А: перекрытия лестничные марши балконы, лоджии	От 1,5 до 2,0 2,0...4,0 2,5...4,0	От 2,0 до 3,0 2,0...4,0 2,0...3,0
Категория В	От 2,0 до 3,0	От 1,5 до 4,5
Категория С: С1 С2 С3 С4 С5	От 2,0 до 3,0 3,0...4,0 3,0...5,0 4,5...5,0 5,0...7,5	От 3,0 до 4,0 2,5...7,0 (4,0) 4,0...7,0 3,5...7,0 3,5...4,5
Категория D: D1 D2	От 4,0 до 5,0 4,0...5,0	От 3,5 до 7,0 (4,0) 3,5...7,0

Таблица 1.4 – Функциональные нагрузки на перекрытия от складирования

Категория использования	q_k , кН/м ²	Q_k , кН
E1	7,5	7,0

Если тепловая изоляция конструкции покрытия незначительная, коэффициент C_t допускается снижать на основании более точных исследований. При определении снеговых нагрузок для неутепленных покрытий цехов с повышенными тепловыделениями при уклонах кровли св. 3 % и обеспечении надлежащего отвода талой воды допускается принимать понижающий коэффициент $C_t = 0,8$. В остальных случаях $C_t = 1,0$. При этом нагрузка s_k должна составлять минимум 0,5 кПа.

Коэффициент окружающей среды следует использовать для определения снеговой нагрузки на покрытия. Коэффициент окружающей среды C_e , как правило, принимают равным 1,0. При выборе коэффициента C_e следует учитывать предполагаемые условия эксплуатации сооружения (таблица 1.5).

Особое внимание следует уделять коэффициентам формы для снеговых нагрузок в случаях, когда внешняя геометрия кровли способствует существенному увеличению снеговой нагрузки по сравнению с прямолинейной формой.

Коэффициенты формы кровли показаны на рисунке 1.1.

Коэффициенты формы снеговых нагрузок μ_1 , которые следует использовать для односкатных покрытий, приведены в таблице 1.6 и на рисунке 1.2.

Схема распределения нагрузки согласно рисунку 1.2 применима к распределению (схемы приложения) нагрузки как без снеговых заносов, так и со снеговыми заносами.

Таблица 1.5 – Рекомендуемые значения коэффициента C_e для различных условий местности Республики Беларусь

Условие местности	C_e
Не защищенные от ветра*	0,8
Обычные**	1,0
Закрытые***	1,0

Примечание – * – не защищенные от ветра: плоские, открытые со всех сторон территории или поверхности, которые незначительно защищены, а также высокие здания или деревья; ** – обычные: территории, на которых не наблюдается существенного перемещения по покрытию сооружения снега при действии ветра, а также с других зданий, сооружений или деревьев; *** – закрытые: территории, на которых рассматриваемые сооружения значительно ниже окружающей местности, или конструкции, окруженные высокими деревьями и/или другими высокими сооружениями

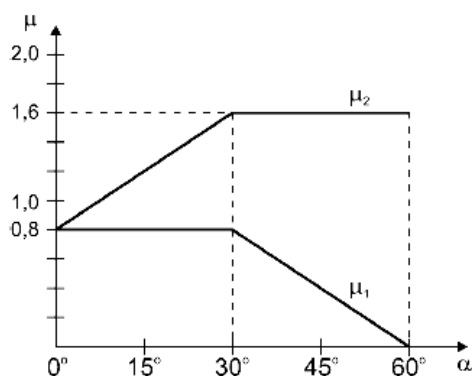


Рисунок 1.1 – Коэффициенты формы кровли для снеговых нагрузок

Таблица 1.6 – Коэффициенты формы снеговых нагрузок

Угол наклона α односкатной кровли	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) / 30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8\alpha / 30$	1,6	–

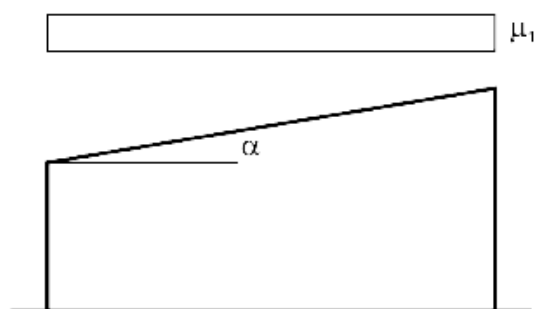


Рисунок 1.2 – Коэффициенты формы снеговых нагрузок. Односкатные покрытия

Коэффициенты формы снеговых нагрузок, которые должны использоваться для двускатных покрытий, приведены на рисунке 1.3, при этом значения коэффициента μ_1 указаны в таблице 1.6 и показаны на рисунке 1.1.

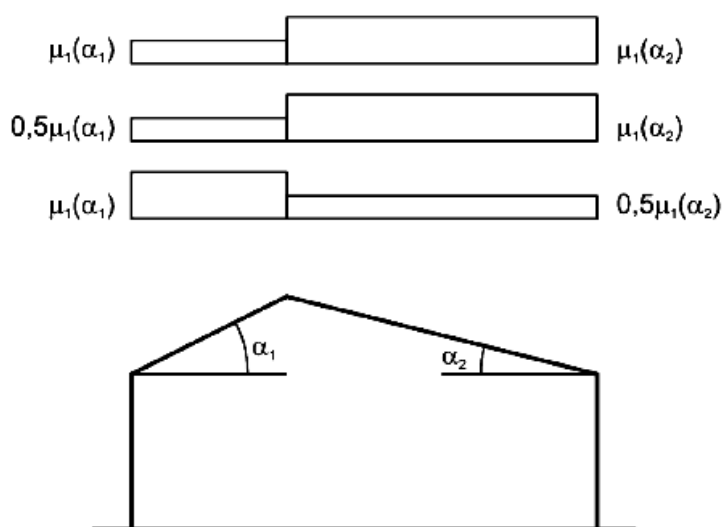


Рисунок 1.3 – Коэффициенты формы снеговых нагрузок. Двускатные покрытия

В таблице 1.7 указаны характеристические значения снеговой нагрузки (рисунок 1.4) на грунт в зависимости от высоты местности над уровнем моря A , м.

Таблица 1.7 – Характеристические значения снеговой нагрузки на грунт в зависимости от высоты местности над уровнем моря

Номер снегового района	Подрайон	Снеговая нагрузка s_k , кПа, для местности с высотой над уровнем моря A , м
1	1а	$s_k = 1,35$
	1б	$s_k = 1,35 + 2,20 \leq (A - 155) / 100$
	1в	$s_k = 1,35 + 0,38 \leq (A - 140) / 100$
2	2а	$s_k = 1,45 + 0,60 \leq (A - 125) / 100$
	2б	$s_k = 1,45 + 0,60 \leq (A - 150) / 100$
	2в	$s_k = 1,45 + 0,60 \leq (A - 210) / 100, s_k \geq 1,00$
3	3	$s_k = 1,55$

1.4.4 Ветровые нагрузки.

В соответствии с [4] ветровые воздействия переменны во времени. Они действуют в форме давления на внешние поверхности наружного ограждения зданий, а вследствие его проницаемости – также и на внутренние поверхности.

Ветровые воздействия, рассматриваемые в [4], являются характеристическими значениями. Они определяются базовым значением скорости ветра или соответствующим скоростным напором. Основное значение базовой скорости

ветра $U_{b,0}$ является характеристическим значением средней скорости ветра на уровне 10 м для открытого типа местности с низкой растительностью (тип II).

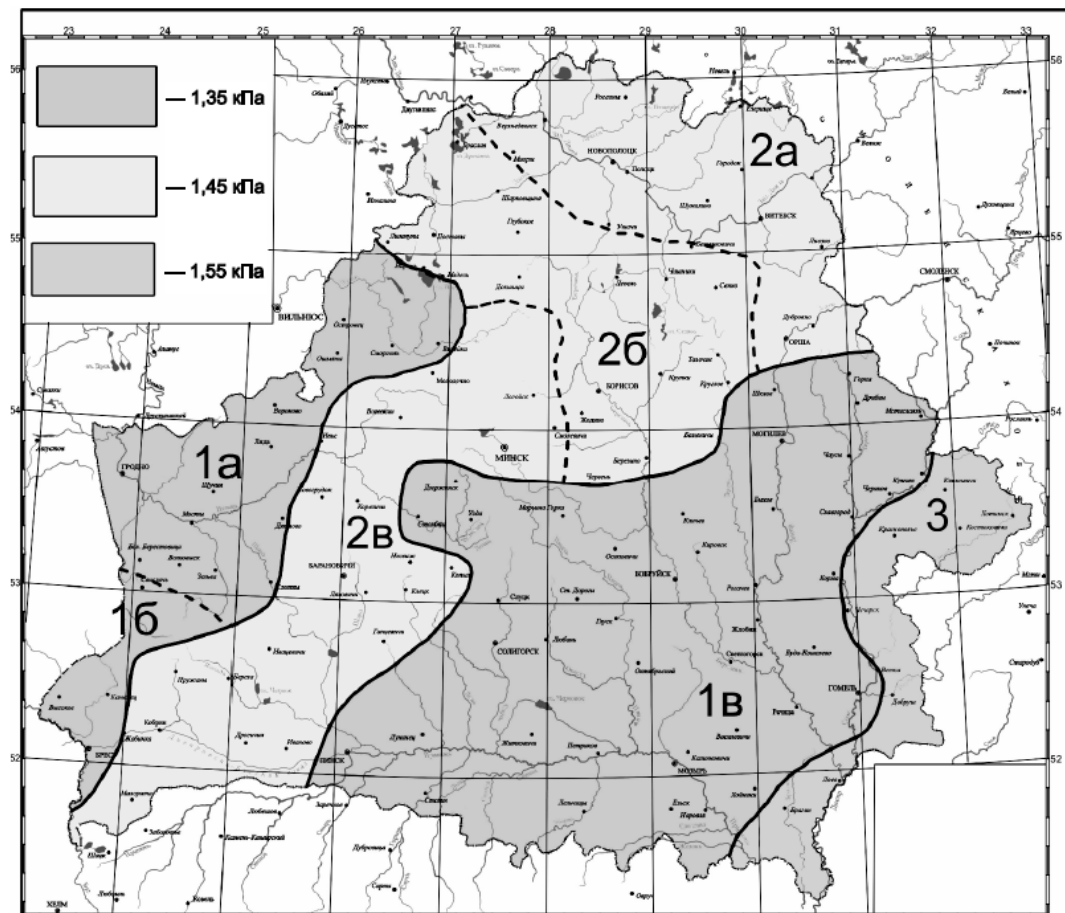


Рисунок 1.4 – Карта снеговых районов (период повторяемости – 50 лет)

Базовое значение скорости ветра

$$U_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot U_{b,0}, \quad (1.9)$$

где U_b – базовая скорость ветра, определяемая как функция направления ветра и времени года, на высоте 10 м над уровнем земли для типа местности II;

$U_{b,0}$ – основное значение базовой скорости ветра (рисунок 1.5), м/с;

c_{dir} – коэффициент, учитывающий направление ветра; установлен в [4], рекомендуемое значение составляет 1,0;

c_{season} – сезонный коэффициент; установлен в [4], рекомендуемое значение составляет 1,0.

Средняя скорость ветра $U_m(z)$ на высоте z над уровнем земли зависит от шероховатости местности, орографии и базового значения скорости ветра U_b :

$$U_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot U_b, \quad (1.10)$$

где $c_r(z)$ – коэффициент, учитывающий тип местности, определяется в соответствии с [4, пункт 4.3.2];

$c_0(z)$ – орографический коэффициент [4, пункт 4.3.3].

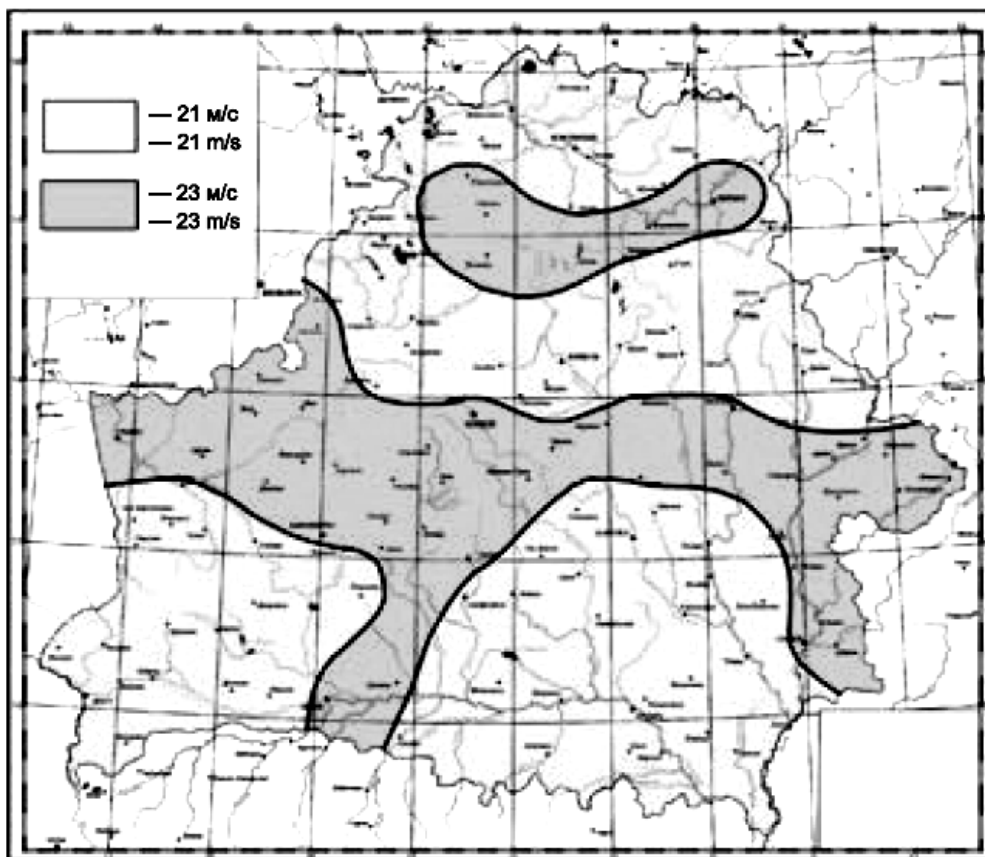


Рисунок 1.5 – Карта ветровых районов и соответствующие им основные значения базовой скорости ветра

Ветровое давление w_e , действующее на внешние поверхности конструкций здания, следует определять по формуле

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe}, \quad (1.11)$$

где $q_p(z_e)$ – пиковое значение скоростного напора ветра [4, подразд. 4.5];

z_e – базовая высота для внешнего давления [4, раздел 7];

c_{pe} – аэродинамический коэффициент внешнего давления [4, раздел 7].

Ветровое давление w_i , действующее на внутренние поверхности конструкций здания, следует определять по формуле

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}, \quad (1.12)$$

где $q_p(z_i)$ – пиковое значение скоростного напора ветра [4, подразд. 4.5];

z_i – базовая высота для внутреннего давления [4, раздел 7];

c_{pi} – аэродинамический коэффициент внутреннего давления [4, раздел 7].

Сводка расчетных процедур для определения ветровых воздействий приведена в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Методы расчета ветровых воздействий [4]

Параметр	Ссылка
Пиковое значение скоростного напора q_p	
Базовое значение скорости ветра v_b	[4, подразд. 4.2]
Базовая высота z_e	[4, раздел 7]
Тип местности	[4, таблица 4.1]
Характеристическое пиковое значение скоростного напора q_p	[4, подразд. 4.5]
Интенсивность турбулентности I_v	[4, подразд. 4.4]
Средняя скорость ветра v_m	[4, пункт 4.3.1]
Орографический коэффициент $c_0(z)$	[4, пункт 4.3.3]
Коэффициент, учитывающий тип местности $c_r(z)$	[4, пункт 4.3.2]
Ветровое давление, например, для покрытий, несущих и ограждающих конструкций	
Аэродинамический коэффициент внешнего давления c_{pe}	[4, раздел 7]
Аэродинамический коэффициент внутреннего давления c_{pi}	[4, раздел 7]
Внешнее ветровое давление: $w_e = q_p \cdot c_{pe}$	[4, подразд. 5.2]
Внутреннее ветровое давление: $w_i = q_p \cdot c_{pi}$	[4, подразд. 5.2]
Ветровая нагрузка, действующая на здания и инженерно-технические сооружения	
Конструкционный коэффициент: $c_s c_d$	[4, раздел 6]
Ветровая нагрузка F_w , рассчитанная по аэродинамическим коэффициентам усилия	[4, подразд. 5.3]
Ветровая нагрузка F_w , рассчитанная по аэродинамическим коэффициентам давления	[4, подразд. 5.3]

1.4.5 Крановые нагрузки.

В соответствии с [5] переменные воздействия крана следует подразделять на:

– переменные вертикальные воздействия крана, вызванные собственным весом крана и грузоподъемностью;

– переменные горизонтальные воздействия крана, вызванные ускорением, торможением или перекосом, а также другими динамическими эффектами.

Номинальные значения собственного веса крана и грузоподъемности, указанные поставщиком крана, должны приниматься в качестве характеристических значений вертикальных нагрузок. Номинальные значения эффектов ускорения и перекоса, указанные поставщиком крана, должны приниматься в качестве характеристических значений горизонтальных нагрузок.

Характеристические значения горизонтальных нагрузок могут быть заданы поставщиком крана или определены в соответствии с [5, пункты 2.7.2–2.7.5].

2 Общие вопросы расчета металлических конструкций

2.1 Расчетные характеристики свойств материалов и соединений

В соответствии с [6] расчетные значения прочности проката, гнутых профилей и труб для различных видов напряженных состояний определяют по формулам, приведенным в таблице 2.1, где характеристические значения предела текучести стали f_{yk} и предела прочности стали f_{uk} принимают в соответствии с государственными стандартами.

Таблица 2.1 – Расчетные значения прочности проката, гнутых профилей и труб

Напряженное состояние	Расчетное значение прочности проката, гнутых профилей и труб
Растяжение, сжатие, изгиб: по пределу текучести по пределу прочности	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$ $f_{ud} = \frac{f_{uk}}{\gamma_m}$
Сдвиг	$f_s = 0,58 \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_m}$
Смятие: торцевой поверхности (при наличии пригонки) местное в цилиндрических шарнирах (цапфах) при плотном касании	$f_p = \frac{f_{uk}}{\gamma_m}$ $f_{lp} = 0,5 \cdot \frac{f_{uk}}{\gamma_m}$
Диаметральное сжатие катков (при свободном касании в конструкциях с ограниченной подвижностью)	$f_{cd} = 0,025 \cdot \frac{f_{uk}}{\gamma_m}$

Значения частного коэффициента по материалу γ_m проката, гнутых профилей и труб принимают по таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Значения частного коэффициента по материалу γ_m

Условие контроля свойств проката	γ_m
Для проката при статистической процедуре контроля его свойств	1,025
Для проката без использования статистической процедуры контроля его свойств, с пределом текучести более 380 Н/мм ² и для горячедеформированных труб	1,100
Для остального проката и труб, соответствующих настоящим строительным правилам	1,050
Для проката и труб, поставляемых по международным и региональным документам	1,050

Расчетные значения прочностных характеристик для сварных соединений различных видов и напряженных состояний определяют по формулам, приведенным в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Расчетные значения прочностных характеристик для сварных соединений

Вид сварного соединения	Напряженное состояние	Характеристика	Расчетное значение
Стыковое	Сжатие	По пределу текучести	$f_{wy} = f_{yd}$
	Растяжение и изгиб при автоматической, механизированной или ручной сварке при контроле качества шва физическими методами	По пределу прочности	$f_{wu} = f_{ud}$
	Растяжение и изгиб при автоматической, механизированной или ручной сварке	По пределу текучести	$f_{wy} = 0,85 \cdot f_{yd}$
	Сдвиг	–	$f_{ws} = f_s$
С угловыми швами	Срез (условный)	По металлу шва	$f_{wf} \frac{0,55 \cdot f_{wuk}}{\gamma_{wm}}$
		По металлу границы сплавления	$f_{wz} = 0,45 \cdot f_{uk}$
<p><i>Примечание</i> – Значения частного коэффициента по металлу шва γ_{wm} принимают равным: 1,25 – при $f_{wuk} \leq 490$ Н/мм²; 1,35 – при $f_{wuk} \geq 590$ Н/мм²</p>			

Расчетное значение прочности сварного стыкового соединения элементов из сталей с разными характеристическими значениями предела прочности или текучести принимают как для стыкового соединения из стали с меньшим значением характеристического значения предела прочности или текучести.

Расчетные значения прочности одноболтового соединения определяют по формулам, приведенным в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Расчетные значения прочности одноболтового соединения

Напряженное состояние	Условное обозначение	Расчетное значение прочности одноболтового соединения						На смятие соединяемых элементов
		на срез и растяжение болтов классов прочности						
		4.6	5.6	5.8	8.8	10.9	12.9	
Срез	f_{bs}	$0,38f_{buk}$	$0,42f_{buk}$	$0,41f_{buk}$	$0,40f_{buk}$	$0,35f_{buk}$	–	
Растяжение	f_{bt}	$0,42f_{buk}$	$0,45f_{buk}$	–	$0,54f_{buk}$	–	–	
Смятие: болты класса точности A болты класса точности B	f_{bp}^*	–						$1,60f_{ud}$ $1,35f_{ud}$
Примечание – * – f_{bp} определяют для соединяемых элементов из стали с пределом текучести до 440 Н/мм ²								

2.2 Материалы для стальных конструкций

Характеристические и расчетные значения предела текучести и предела прочности при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального, сортового проката и труб принимаются в соответствии с таблицей 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристические и расчетные значения предела текучести и предела прочности при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополосного универсального, сортового проката и труб

Марка стали	Толщина проката, мм	f_{yk} , Н/мм ²	f_{uk} , Н/мм ²	f_{yd} , Н/мм ²	f_{ud} , Н/мм ²
1	2	3	4	5	6
S235	От 2,0 до 4,0 включ.	235	360	230/225	350/345
S245	От 2,0 до 3,9 включ.	245	370	240/235	360/350
	4,0...30	235	370	230/225	360/350
S255	От 2,0 до 3,9 включ.	255	380	250/245	370/360
	4,0...10	245	380	240/235	370/360
	Св. 10...20	245	370	240/235	360/350
	20...40	235	370	230/225	360/350
S345	От 2,0 до 10 включ.	345	490	340/330	480/470
	Св. 10...20	325	470	320/310	460/450
	20...40	305	460	300/290	450/440
	40...60	285	450	280/270	440/430
	60...80	275	440	270/260	430/420
	80...160	265	430	260/250	420/410
S345K	От 4,0 до 10 включ.	345	470	340/330	460/450

Окончание таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6
С355	От 8,0 до 16 включ.	355	470	350/340	460/450
	Св. 16...40	345	470	340/330	460/450
	40...60	335	470	330/320	460/450
	60...80	325	470	320/310	460/450
	Св. 80...100 включ.	315	470	310/300	460/450
	100...160	295	470	285/280	460/450
С355-1 С355-К	От 8,0 до 16 включ.	345	470	350/340	460/450
	Св. 16...40	345	470	340/330	460/450
	40...50	335	470	330/320	460/450
С355П	От 8,0 до 16 включ.	355	470	350/340	460/450
	Св. 16...40	345	470	340/330	460/450
С390, С390-1	От 8,0 до 50 включ.	390	520	380/370	505/495
С440	От 8,0 до 50 включ.	440	540	430/420	525/515
С550	От 8,0 до 50 включ.	540	640	525/515	625/610
С590	От 8,0 до 50 включ.	590	6985	575/560	670/650
С690	От 8,0 до 50 включ.	690	785	-/650	-/745
<p><i>Примечание</i> – За характеристические значения прочности стали проката приняты гарантированные значения предела текучести и предела прочности стали согласно ТНПА. Расчетные значения предела текучести и предела прочности получены делением их характеристических значений на частные коэффициенты по материалу, принятые по таблице 2.2. В числителе приведены расчетные значения предела текучести и предела прочности проката при $\gamma_m = 1,025$; в знаменателе – при $\gamma_m = 1,050$, с точностью до 5 Н/мм²</p>					

Характеристические и расчетные значения предела текучести и предела прочности при растяжении, сжатии и изгибе фасонного проката принимаются в соответствии с таблицей 2.6.

Таблица 2.6 – Характеристические и расчетные значения предела текучести и предела прочности при растяжении, сжатии и изгибе фасонного проката

Марка стали	Толщина проката, мм	f_{yk} , Н/мм ²	f_{uk} , Н/мм ²	f_{yd} , Н/мм ²	f_{ud} , Н/мм ²
1	2	3	4	5	6
С245	От 4,0 до 20 включ.	245	370	240/235	360/350
	20...40	235	370	230/225	360/350
С255	От 4,0 до 10 включ.	255	380	250/245	370/360
	10...20	245	370	240/235	360/350
	20...40	235	370	230/225	360/350
С345	От 4,0 до 10 включ.	345	480	340/330	470/460
	10...20	325	470	320/310	460/450
	20...40	305	460	300/290	450/440
С345К	От 4,0 до 10 включ.	345	470	340/330	460/450
С355	От 8,0 до 16 включ.	355	470	350/340	460/450
	16...40	345	470	340/330	460/450

Окончание таблицы 2.6

1	2	3	4	5	6
С355-1	От 8,0 до 16 включ.	355	470	350/340	460/450
	16...40	345	470	340/330	460/450
С390	От 8,0 до 10 включ.	390	520	380/370	505/495
	10...20	380	500	370/360	480/475
	20...40	370	490	360/350	480/470

Примечание – За толщину фасонного проката принимают толщину полки. За характеристические значения прочности фасонного проката приняты гарантированные значения предела текучести и предела прочности стали согласно ТНПА. Расчетные значения предела текучести и предела прочности получены делением их характеристических значений на частные коэффициенты по материалу, принятые по таблице 2.2. В числителе приведены расчетные значения предела текучести и предела прочности проката при $\gamma_m = 1,025$; в знаменателе – при $\gamma_m = 1,050$, с точностью до 5 Н/мм^2

Физические характеристики свойств материалов для стальных конструкций представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Физические характеристики свойств материалов для стальных конструкций

Характеристика	Значение
Плотность ρ , кг/м ³ : проката и стальных отливок	7850
отливок из чугуна	7200
Коэффициент линейного расширения α , °С ⁻¹	$0,012 \cdot 10^{-4}$
Модуль упругости прокатной стали E , Н/мм ²	$2,06 \cdot 10^5$
Модуль сдвига прокатной стали G , Н/мм ²	$0,79 \cdot 10^5$
Коэффициент поперечной деформации (Пуассона) ν	0,3

3 Расчеты на устойчивость

Расчетную длину сжатых элементов плоских ферм и связей в их плоскости l_{ef} и из плоскости $l_{ef,1}$ принимают по таблице 3.1.

Гибкость элементов $\lambda = \frac{l_{ef}}{i}$ не должна превышать предельных значений λ_u , приведенных в таблице 3.2 для сжатых элементов и в таблице 3.3 – для растянутых элементов.

Коэффициенты для расчета на устойчивость центрально-сжатых элементов в зависимости от типа сечения представлены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.1 – Расчетные длины сжатых элементов плоских ферм и связей

Направление продольного изгиба элемента фермы	Расчетная длина l_{ef} и $l_{ef,1}$		
	поясов	опорных раскосов и опорных стоек	прочих элементов решетки
1 В плоскости фермы l_{ef} : а) для ферм, кроме указанных в поз. 1б б) для ферм из одиночных уголков и ферм с креплением элементов решетки к поясам впритык	l l	l l	$0,80l$ $0,90l$
2 В направлении, перпендикулярном плоскости фермы (из плоскости фермы), $l_{ef,1}$: а) для ферм, кроме указанных в поз. 2б б) для ферм с креплением элементов решетки к поясам впритык	l_1 l_1	l_1 l_1	l_1 $0,90l_1$
3 В любом направлении $l_{ef} = l_{ef,1}$ для ферм из одиночных уголков при одинаковых расстояниях между точками закрепления элементов в плоскости и из плоскости фермы	$0,85l$	l	$0,85l$
<p><i>Примечание</i> – Обозначения, принятые в таблице: l – геометрическая длина элемента (расстояние между центрами ближайших узлов) в плоскости фермы; l_1 – расстояние между узлами, закрепленными от смещения из плоскости фермы (поясами ферм, специальными связями, жесткими плитами покрытий, прикрепленными к поясу сварными швами или болтами, и т. п.)</p>			

Таблица 3.2 – Предельные гибкости сжатых элементов

Элемент конструкции	λ_u
1	2
1 Пояса, опорные раскосы и стойки, передающие опорные реакции: плоских ферм, структурных конструкций и пространственных конструкций из труб или парных уголков высотой до 50 м пространственных конструкций из одиночных уголков, а также пространственных конструкций из труб и парных уголков высотой св. 50 м	$180 - 60\alpha$ 120
2 Элементы, кроме указанных в поз. 1 и 7: плоских ферм, сварных пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков, пространственных и структурных конструкций из труб и парных уголков пространственных и структурных конструкций из одиночных уголков с болтовыми соединениями	$210 - 60\alpha$ $220 - 40\alpha$
3 Верхние пояса ферм, не закрепленные в процессе монтажа (предельную гибкость после завершения монтажа принимают по поз. 1)	220
4 Основные колонны	$180 - 60\alpha$
5 Второстепенные колонны (стойки фахверка, фонарей и т. п.), элементы решетки колонн, элементы вертикальных связей между колоннами (ниже балок крановых путей)	$210 - 60\alpha$
6 Элементы связей, кроме указанных в поз. 5, а также стержни, служащие для уменьшения расчетной длины сжатых стержней, и другие ненагруженные элементы, кроме указанных в поз. 7	200

Окончание таблицы 3.2

1	2
7 Сжатые и ненагруженные элементы пространственных конструкций таврового и крестового сечений, подверженные воздействию ветровых нагрузок, при проверке гибкости в вертикальной плоскости	150
<p><i>Примечание</i> – Обозначение, принятое в таблице: α – коэффициент, $\alpha = \frac{N_{Ed}}{\varphi A f_{yd} \gamma_c} \geq 0,5$ (в соответствующих случаях вместо φ принимают φ_e)</p>	

Таблица 3.3 – Предельные гибкости растянутых элементов

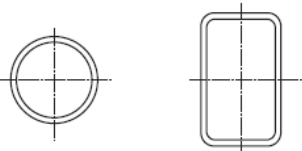
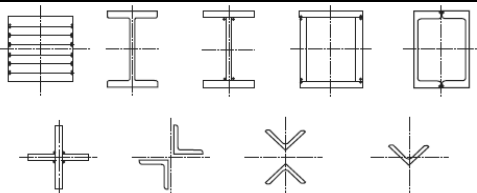
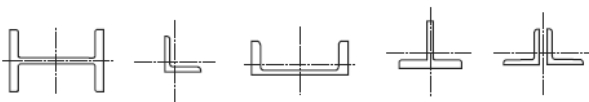
Элемент конструкции	λ_u при воздействии на конструкцию нагрузок		
	динамических, приложенных непосредственно к конструкции	статических	от кранов и железнодорожных составов
1 Пояса и опорные раскосы плоских ферм (включая тормозные) и структурных конструкций	250	400	250
2 Элементы ферм и структурных конструкций, кроме указанных в поз. 1	350	400	300
3 Нижние пояса балок и ферм крановых путей	–	–	150
4 Элементы вертикальных связей между колоннами (ниже балок крановых путей)	300	300	200
5 Прочие элементы связей	400	400	300
6 Пояса и опорные раскосы стоек и траверс, тяги траверс опор линий электропередачи, открытых распределительных устройств и контактных сетей транспорта	250	–	–
7 Элементы опор линий электропередачи, открытых распределительных устройств и контактных сетей транспорта, кроме указанных в поз. 6 и 8	350	–	–
8 Элементы пространственных конструкций таврового и крестового сечений, подверженных воздействию ветровых нагрузок, при проверке гибкости в вертикальной плоскости	150	–	–
<p><i>Примечание</i> – В конструкциях, не подвергающихся динамическим воздействиям, гибкость растянутых элементов проверяют только в вертикальных плоскостях. Для элементов связей (см. поз. 5), у которых прогиб под действием собственного веса не превышает $\frac{l}{150}$, при воздействии на конструкцию статических нагрузок принимают $\lambda_u = 500$. Гибкость растянутых элементов, подвергнутых предварительному напряжению (тяжи с талрепами), не ограничивается. Для нижних поясов балок и ферм крановых путей при кранах групп режимов работы А1–А6 принимают $\lambda_u = 200$</p>			

Таблица 3.4 – Коэффициент устойчивости при центральном сжатии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициент φ для типа сечения			Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Коэффициент φ для типа сечения		
	a	b	c		a	b	c
0,4	1000	100	984	4,8	330	308	
0,6	994	986	956	5,0	304	289	
0,8	981	967	929	5,2	271	271	
1,0	968	948	901	5,4	261	255	
1,2	953	927	872	5,6	242	241	
1,4	938	905	842	5,8	226		
1,6	920	881	811	6,0	211		
1,8	900	855	778	6,2	198		
2,0	877	826	744	6,4	186		
2,2	851	794	709	6,6	174		
2,4	821	760	672	6,8	164		
2,6	786	723	635	7,0	155		
2,8	747	683	598	7,2	147		
3,0	704	643	562	7,4	139		
3,2	660	602	527	7,6	132		
3,4	616	562	493	7,8	125		
3,6	572	524	460	8,0	119		
3,8	526	487	430	8,5	105		
4,0	475	453	402	9,0	094		
4,2	431	422	375	9,5	084		
4,4	393	392	351	10,0	076		
4,6	359		329				

Примечание – Значения коэффициентов φ в таблице увеличены в 1000 раз

Таблица 3.5 – Типы сечений

Обозначение	Тип сечения Форма	Значение коэффициента	
		α	β
a		0,03	0,06
b		0,04	0,09
c		0,04	0,14

Примечание – Значения коэффициентов для прокатных двутавров высотой более 500 мм при расчете на устойчивость в плоскости стенок принимают для типа сечения a . Значения коэффициентов для прокатных двутавров при расчете на устойчивость в плоскости меньшей жесткости принимают для типа сечения c

Коэффициенты устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сплошного и сквозного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии представлены в таблицах 3.6–3.11.

Таблица 3.6 – Коэффициент устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сплошного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
0,5	967	922	850	782	722	669	620	577	538
1,0	925	854	778	711	653	600	563	520	484
1,5	875	804	716	647	593	548	507	470	439
2,0	813	742	653	587	536	496	457	425	397
2,5	742	672	587	526	480	442	410	383	357
3,0	667	597	520	465	425	395	365	342	320
3,5	587	522	455	408	375	350	325	303	287
4,0	505	447	394	356	330	309	289	270	256
4,5	418	382	342	310	288	272	257	242	229
5,0	354	326	295	273	253	239	225	215	205
5,5	302	280	256	240	224	212	200	192	184
6,0	258	244	223	210	198	190	178	172	166
6,5	223	213	196	185	176	170	160	155	149
7,0	194	186	173	163	157	152	145	141	136
8,0	152	146	138	133	128	121	117	115	113

Примечание – Значения коэффициента φ_e в таблице увеличены в 1000 раз. Значения φ_e принимают не более значений φ

Таблица 3.7 – Коэффициент устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сплошного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}								
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	469	417	370	337	307	280	260	237	222
1,0	427	382	341	307	283	259	240	225	209
1,5	388	347	312	283	262	240	223	207	195
2,0	352	315	286	260	240	222	206	193	182
2,5	317	287	262	238	220	204	190	178	168
3,0	287	260	238	217	202	187	175	166	156
3,5	258	233	216	198	183	172	162	153	145
4,0	232	212	197	181	168	158	149	140	135
4,5	208	192	178	165	155	146	137	130	125

Окончание таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5,0	188	175	162	150	143	135	126	120	117
5,5	170	158	148	138	132	124	117	112	108
6,0	153	145	137	128	120	115	109	104	100
6,5	140	132	125	117	112	106	101	097	094
7,0	127	121	115	108	102	098	094	091	087
8,0	106	100	095	091	087	083	081	078	076

Примечание – Значения коэффициента φ_e в таблице увеличены в 1000 раз. Значения φ_e принимают не более значений φ

Таблица 3.8 – Коэффициент устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сплошного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}							
	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	210	183	164	150	125	106	090	077
1,0	196	175	157	142	121	103	086	074
1,5	182	163	148	134	114	099	082	070
2,0	170	153	138	125	107	094	079	067
2,5	158	144	130	118	101	090	076	065
3,0	147	135	123	112	097	086	073	063
3,5	137	125	115	106	092	082	069	060
4,0	127	118	108	098	088	078	066	057
4,5	118	110	101	093	083	075	064	055
5,0	111	103	095	088	079	072	062	053
5,5	104	0,95	089	0,84	075	069	060	051

Примечание – Значения коэффициента φ_e в таблице увеличены в 1000 раз. Значения φ_e принимают не более значений φ

Таблица 3.9 – Коэффициент устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сквозного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}								
	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	908	800	666	571	500	444	400	364	333
1,0	872	762	640	553	483	431	387	351	328

Окончание таблицы 3.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,5	830	727	600	517	454	407	367	336	311
2,0	774	673	556	479	423	381	346	318	293
2,5	708	608	507	439	391	354	322	297	274
3,0	637	545	455	399	356	324	296	275	255
3,5	562	480	402	355	320	294	270	251	235
4,0	484	422	357	317	288	264	246	228	215
4,5	415	365	315	281	258	237	223	207	196
5,0	350	315	277	250	230	212	201	186	178
5,5	300	273	245	223	203	192	182	172	163
6,0	255	237	216	198	183	174	165	156	149
6,5	221	208	190	178	165	157	149	142	137
7,0	192	184	168	160	150	141	135	130	125
8,0	148	142	136	130	123	118	113	108	105
<i>Примечание</i> – Значения коэффициента φ_e в таблице увеличены в 1000 раз. Значения φ_e принимают не более значений φ									

Таблица 3.10 – Коэффициент устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сквозного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}								
	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
0,5	286	250	222	200	182	167	154	143	133
1,0	280	243	218	197	180	165	151	142	131
1,5	271	240	211	190	178	163	149	137	128
2,0	255	228	202	183	170	156	143	132	125
2,5	238	215	192	175	162	148	136	127	120
3,0	222	201	182	165	153	138	130	121	116
3,5	206	187	170	155	143	130	123	115	110
4,0	191	173	160	145	133	124	118	110	105
4,5	176	160	149	136	124	116	110	105	096
5,0	161	149	138	127	117	108	104	100	095
<i>Примечание</i> – Значения коэффициента φ_e в таблице увеличены в 1000 раз. Значения φ_e принимают не более значений φ									

Таблица 3.11 – Коэффициент устойчивости φ_e при внецентренном сжатии стержней сквозного сечения в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии

Условная гибкость $\bar{\lambda}$	Значение φ_e при приведенном относительном эксцентриситете m_{ef}							
	7,0	8,0	9,0	10	12	14	17	20
0,5	125	111	100	091	077	067	058	048
1,0	121	109	098	090	077	066	055	046
1,5	119	108	096	088	077	065	053	045
2,0	117	106	095	086	076	064	052	045
2,5	113	103	093	083	074	062	051	044
3,0	110	100	091	081	071	061	051	043
3,5	106	096	088	078	069	059	050	042
4,0	100	093	084	076	067	057	049	041
4,5	096	089	079	073	065	055	048	040

Примечание – Значения коэффициента φ_e в таблице увеличены в 1000 раз. Значения φ_e принимают не более значений φ

Коэффициенты расчетной длины μ_1 для одноступенчатых колонн с верхним концом, свободным от закреплений приведены в таблицах 3.12 и 3.13.

Таблица 3.12 – Коэффициенты расчетной длины μ_1 для одноступенчатых колонн с верхним концом, свободным от закреплений

Расчетная схема	α_1	Коэффициент μ_1 при n									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	0,2	2,0	2,01	2,02	2,03	2,04	2,05	2,06	2,06	2,07	2,08
	0,4	2,0	2,04	2,08	2,11	2,23	2,18	2,21	2,25	2,28	2,32
	0,6	2,0	2,11	2,20	2,28	2,36	2,44	2,52	2,59	2,66	2,73
	0,8	2,0	2,25	2,42	2,56	2,70	2,83	2,96	3,07	3,17	3,27
	1,0	2,0	2,50	2,73	2,94	3,13	3,29	3,44	3,59	3,74	3,87
	1,5	3,0	3,43	3,77	4,07	4,35	4,61	4,86	5,05	–	–
	2,0	4,0	4,44	4,90	5,29	5,67	6,03	–	–	–	–
	2,5	5,0	5,55	6,08	6,56	7,00	–	–	–	–	–
	3,0	6,0	6,65	7,25	7,82	–	–	–	–	–	–

Таблица 3.13 – Коэффициенты расчетной длины μ_1 для одноступенчатых колонн с верхним концом, свободным от закреплений

Расчетная схема	α_1	Коэффициент μ_1 при n									
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	0,2	2,09	2,10	2,12	2,14	2,15	2,17	2,21	2,40	2,76	3,38
	0,4	2,35	2,42	2,48	2,54	2,60	2,66	2,80	–	–	–
	0,6	2,8	2,93	3,05	3,17	3,28	3,39	–	–	–	–
	0,8	3,36	3,55	3,74	–	–	–	–	–	–	–
	1,0	4,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Коэффициенты расчетной длины μ_1 для одноступенчатых колонн с верхним концом, закрепленным только от поворота приведены в таблицах 3.14 и 3.15.

Коэффициенты для расчета элементов конструкций приведены в таблице 3.16.

Таблица 3.14 – Коэффициенты расчетной длины μ_1 для одноступенчатых колонн с верхним концом, закрепленным только от поворота

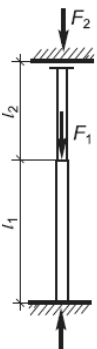
Расчетная схема	α_1	Коэффициент μ_1 при n									
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	0	2,0	1,92	1,86	1,80	1,76	1,70	1,67	1,64	1,60	1,57
	0,2	2,0	1,93	1,87	1,82	1,76	1,71	1,68	1,64	1,62	1,59
	0,4	2,0	1,94	1,88	1,83	1,77	1,75	1,72	1,69	1,66	1,62
	0,6	2,0	1,95	1,91	1,86	1,83	1,79	1,77	1,76	1,72	1,71
	0,8	2,0	1,97	1,94	1,92	1,90	1,88	1,87	1,86	1,85	1,83
	1,0	2,0	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	1,5	2,0	2,12	2,25	2,33	2,38	2,43	2,48	2,52	–	–
	2,0	2,0	2,45	2,66	2,81	2,91	3,00	–	–	–	–
	2,5	2,5	2,94	3,17	3,34	3,50	–	–	–	–	–
	3,0	3,0	3,43	3,70	3,93	4,12	–	–	–	–	–

Таблица 3.15 – Коэффициенты расчетной длины μ_1 для одноступенчатых колонн с верхним концом, закрепленным только от поворота

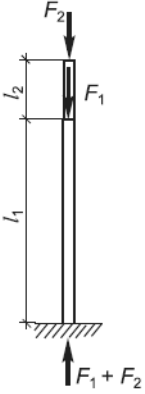
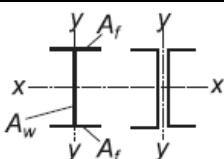
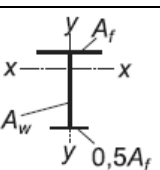
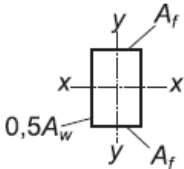
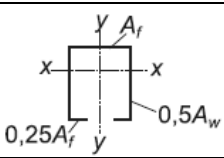
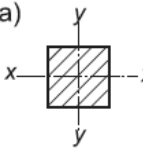
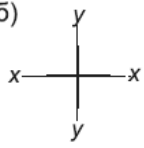
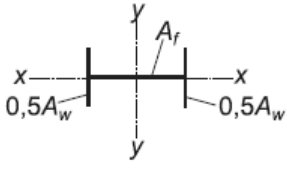
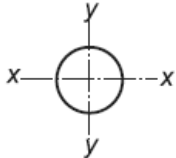
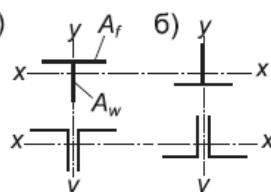

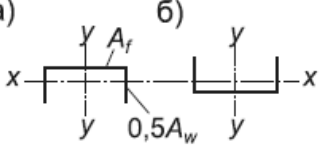
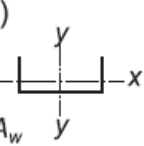
Расчетная схема	α_1	Коэффициент μ_1 при n									
		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	0	1,55	1,50	1,46	1,43	1,40	1,37	1,32	1,18	1,10	1,05
	0,2	1,56	1,52	1,48	1,45	1,41	1,39	1,33	1,20	1,11	–
	0,4	1,61	1,57	1,53	1,50	1,48	1,45	1,40	–	–	–
	0,6	1,69	1,66	1,63	1,61	1,59	–	–	–	–	–
	0,8	1,82	1,80	1,79	–	–	–	–	–	–	–
	1,0	2,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	1,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2,5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 3.16 – Коэффициенты для расчета элементов конструкций с учетом развития пластических деформаций

Тип сечения	Схема сечения	$\frac{A_f}{A_w}$	Наибольшие значения коэффициентов		
			c_x	c_y	n при $M_{y,Ed} = 0$
1	2	3	4	5	6
1		0,25	1,19	1,47	1,5
		0,5	1,12		
		1,0	1,07		
		2,0	1,04		
2		0,5	1,40	1,47	2,0
		1,0	1,28		
		2,0	1,18		
3		0,25	1,19	1,07	1,5
		0,5	1,12	1,12	
		1,0	1,07	1,19	
		2,0	1,04	1,26	
4		0,5	1,40	1,12	2,0
		1,0	1,28	1,20	
		2,0	1,18	1,31	

Окончание таблицы 3.16

1	2	3	4	5	6
5	а)  б) 	–	1,47	1,47	Для схем: а) 2,0 б) 3,0
6		0,25 0,5 1,0 2,0	1,47	1,04 1,07 1,12 1,19	3,0
7		– 0,5 1,0 2,0	1,26 1,12 1,07 1,04	1,26 1,12 1,19 1,26	1,5
8	а)  б) 	–	1,60	1,47	Для схем: а) 3,0 б) 1,0
9	а)  б) 	0,5 1,0 2,0	1,60	1,07 1,12 1,19	Для схем: а) 3,0 б) 1,0
<p><i>Примечание</i> – Коэффициенты для промежуточных значений $\frac{A_f}{A_w}$ определяют линейной интерполяцией. Значение коэффициентов c_x, c_y принимают не более $1,15\gamma_F$ (γ_F – частный коэффициент по нагрузке, определяемый как отношение расчетного значения эквивалентной (по расчетному значению изгибающего момента) нагрузки к ее характеристическому значению). При $M_{y,Ed} \neq 0$ принимают $n = 1,5$, за исключением типа сечения 5а, для которого $n = 2$, и типа сечения 5б, для которого $n = 3$</p>					

4 Сварные соединения

При проектировании стальных конструкций основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений принимаются в соответствии с ТНПА.

Сварные стыковые соединения листовых деталей проектируют прямыми с полным проваром и с применением выводных планок. В условиях монтажа применяется односторонняя сварка с подваркой корня и сварка на остающейся стальной подкладке.

При сварке листов разной толщины или ширины применяют односторонний или двусторонний скос кромок с уклоном не более 1:5, что обеспечивает

плавное распределение силового потока.

Применение прерывистых стыковых сварных швов не допускается.

Размеры сварных угловых швов и конструкция соединения должны удовлетворять следующим требованиям:

1) катет углового шва k_f не должен превышать $1,2t$ (t – наименьшая из толщин свариваемых элементов); катет шва, наложенного на закругленную кромку фасонного проката толщиной t , не должен превышать $0,9t$;

2) катет углового шва k_f должен удовлетворять требованиям расчета и должен быть не менее указанного в таблице 4.1; при обеспечении глубины провара в тавровом двустороннем, а также в нахлесточном и угловом соединениях, при обеспечении мероприятий, гарантирующих отсутствие дефектов, в том числе технологических трещин, катет шва (от 5 мм и более) принимается менее указанного в таблице 4.1, но не менее 4 мм;

3) расчетная длина углового шва должна быть не менее $4k_f$ и не менее 40 мм;

4) расчетная длина флангового шва должна быть не более $85\beta_f k_f$, за исключением швов, в которых усилие действует на всем протяжении шва (коэффициент β_f принимают по таблице 4.2);

5) размер нахлестки должен быть не менее пятикратной толщины наиболее тонкого из свариваемых элементов;

6) соотношение размеров катетов угловых швов принимают 1:1; при разной толщине свариваемых элементов принимают швы с неравными катетами; при этом катеты, примыкающие к более тонкому или более толстому элементу, должны удовлетворять требованиям, перечисленным в п. 1 или 2 соответственно;

7) угловые швы выполняют с плавным переходом к основному металлу;

8) угловые сварные швы разрешается применять для соединения деталей, свариваемые поверхности которых расположены под углом от 60° до 120° ;

9) разрешается угол менее 60° , однако в этом случае угловой сварной шов рассматривают как стыковой с неполным проваром;

10) угловые сварные швы, расположенные на концах соединяемых элементов (в торце или сбоку), заводят за угол непрерывно и полноразмерно на расстояние, равное по крайней мере двукратному катету шва, если доступность и конфигурация узла позволяют это выполнить.

Материалы для сварки, соответствующие стали представлены в таблице 4.3. Характеристические значения предела прочности шва и расчетные значения прочности угловых швов на срез (условный) по металлу шва приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.1 – Минимальный катет углового шва k_f

Вид соединения	Вид сварки	Характеристическое значение предела текучести стали, Н/мм ²	Минимальный катет шва k_f , мм, при толщине более толстого из свариваемых элементов t , мм					
			от 4 до 5 включ.	от 6 до 10 включ.	от 11 до 16 включ.	от 17 до 22 включ.	от 23 до 32 включ.	от 33 до 40 включ.
Тавровое с двусторонними угловыми швами; нахлесточное и угловое	Ручная дуговая	До 285 включ.	4	4	4	6	10	12
		Св. 285 до 390 включ.	4	5	6	8	10	14
		Св. 390 до 590 включ.	5	6	7	8	10	14
	Автоматическая и механизированная	До 285 включ.	3	4	4	6	10	12
		Св. 285 до 390 включ.	3	4	5	8	10	14
		Св. 390 до 590 включ.	4	5	6	8	10	14
Тавровое с односторонними угловыми швами	Ручная дуговая	До 375 включ.	5	6	7	8	10	14
	Автоматическая и механизированная		4	5	6	10	10	18

Примечание – В конструкциях из стали с пределом текучести более 590 Н/мм² минимальный катет швов принимают по техническим условиям. Для всех сталей при толщине элементов более 40 мм катет сварного шва принимают по расчету

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов β_f и β_z

Вид сварки при диаметре сварочной проволоки сплошного сечения d , мм	Положение шва	Коэффициент	Значение коэффициентов β_f и β_z при нормальных режимах сварки и катетах швов, мм			
			от 3 до 8 включ.	от 9 до 12 включ.	от 14 до 16 включ.	св. 16
Автоматическая при d от 3 до 5	В лодочку	β_f	1,1			0,7
		β_z	1,15			1,0
	Нижнее	β_f	1,1	0,9		0,7
		β_z	1,15	1,05		1,0
Автоматическая и механизированная при d от 1,4 до 2	В лодочку	β_f	0,9		0,8	0,7
		β_z	1,05		1,0	
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное	β_f	0,9	0,8	0,7	
		β_z	1,05	1,0		
Ручная и механизированная при d менее 1,4 или порошковой проволокой	В лодочку	β_f	0,7			
	Нижнее, горизонтальное, вертикальное, потолочное	β_z	1,0			

Таблица 4.3 – Материалы для сварки, соответствующие стали

Характеристическое значение предела текучести стали f_{yk} , Н/мм ²	Марка материала для сварки				Тип электрода
	сварочной проволоки для автоматической и механической сварки		флюса	порошковой проволоки	
	в углекислом газе или в его смеси с аргонном	под флюсом			
До 290	Св-08Г2С	Св-08А	АН-348-А, АН-60 ¹⁾ , ПКФ-56С ⁴⁾ , UF-02, UF-03 ⁵⁾	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э42, Э42А
		Св-08ГА			Э46, Э46А
От 290 до 590		Св-10ГА ²⁾	АН-17-М АН-43 АН-47 АН-348-А ³⁾ ПФК-56С ⁴⁾ UF-02, UF-03 ⁵⁾		Э50, Э50А
		Св-10Г2 ²⁾ Св-10НМА			
От 590	Св-08Г2С, Св-08ХГСМА	Св-10НМА	АН-17-М ПФК-56С ⁴⁾ UF-02, UF-03 ⁵⁾	ПП-АН-3 ПП-АН-8	Э60
	Св-10ХГ2СМА	Св-08ХН2ГМЮ			Э70

¹⁾ Флюс АН-60 и электроды типов Э42, Э46, Э50 применяют для конструкций групп 2 и 3 при расчетных температурах $t \geq -45$ °С.

²⁾ Не применять в сочетании с флюсом АН-43.

³⁾ Для флюса АН-348-А требуется дополнительный контроль механических свойств металла шва при сварке соединений элементов толщиной более 32 мм при расчетных температурах $t \geq -45$ °С.

⁴⁾ Керамический флюс ПФК-56С по техническим условиям для автоматической сварки стыковых соединений конструкций пролетных строений стальных мостов.

⁵⁾ Керамический флюс сварочный агломерированный марок UF-02 и UF-03 по соответствующим техническим условиям

Примечание – При соответствующем технико-экономическом обосновании для сварки конструкций используют сварочные материалы (проволоки, флюсы, защитные газы), не указанные в настоящей таблице. При этом механические свойства металла шва, выполняемого с их применением, должны быть не ниже свойств, обеспечиваемых применением материалов, приведенных в настоящей таблице

Таблица 4.4 – Характеристические значения предела прочности шва и расчетные значения прочности угловых швов на срез (условный) по металлу шва

Сварочный материал		f_{wuk} , Н/мм ²	f_{wf} , Н/мм ²
Тип электрода	Марка проволоки		
Э42, Э42А	Св-08, Св-08А	410	180
Э46, Э46А	Св-08ГА	450	200
Э50, Э50А	Св-08Г2С, Св-10ГА, ПП-АН-8, ПП-АН-3	490	215
Э60	Св-08Г2С ¹⁾ , Св-10НМА, Св-10Г2	590	240
Э70	Св-10ХГ2СМА, Св-08ХН2ГМЮ	685	280
Э85	–	835	340

¹⁾ Только для швов с катетом $k_f \leq 8$ мм в конструкциях из стали с характеристическим значением предела текучести 440 Н/мм² и более

5 Болтовые соединения

Для болтовых соединений элементов стальных конструкций применяют болты, приведенные в соответствии с [6, приложение Г].

Болты класса точности *A* применяют для соединений, в которых отверстия просверлены на проектный диаметр в собранных элементах, или по кондукторам в отдельных элементах и деталях, или просверлены или продавлены на меньший диаметр в отдельных деталях с последующей рассверловкой до проектного диаметра в собранных элементах.

Болты класса точности *B* в многоболтовых соединениях применяют для конструкций из стали с пределом текучести до 375 Н/мм².

В соединениях, где болты работают преимущественно на растяжение, применяют болты класса точности *B* или высокопрочные.

Болты размещают на расстоянии, как указано в таблице 5.1, при этом в стыках и в узлах – на минимальном расстоянии, а соединительные конструктивные болты – на максимальном расстоянии.

Таблица 5.1 – Расстояния при размещении болтов

Характеристика расстояния и предела текучести соединяемых элементов	Расстояние при размещении болтов
1 Расстояние между центрами отверстий для болтов в любом направлении: минимальное: при $f_{yk} \leq 375$ Н/мм ² при $f_{yk} > 375$ Н/мм ² максимальное в крайних рядах при отсутствии окаймляющих уголков при растяжении и сжатии максимальное в средних рядах, а также в крайних рядах при наличии окаймляющих уголков: при растяжении при сжатии	 $2,5d$ $3d$ $8d$ или $12t$ $16d$ или $24t$ $12d$ или $18t$

Окончание таблицы 5.1

Характеристика расстояния и предела текучести соединяемых элементов	Расстояние при размещении болтов
2 Расстояние от центра отверстия для болта до края элемента: минимальное вдоль усилия: при $f_{yk} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$ при $f_{yk} > 375 \text{ Н/мм}^2$ минимальное поперек усилия: при обрезных кромках при прокатных кромках максимальное минимальное во фрикционном соединении при любой кромке и любом направлении усилия	$2d$ $2,5d$ $1,5d$ $1,2d$ $4d$ или $8t$ $1,3d$
3 Расстояние минимальное между центрами отверстий вдоль усилия для болтов, размещаемых в шахматном порядке	$u + 1,5d$
<p><i>Примечание</i> – Обозначения, принятые в таблице: d – диаметр отверстия для болта; t – толщина наиболее тонкого наружного элемента; u – расстояние поперек усилия между рядами отверстий. Диаметр отверстий принимают: для болтов класса точности A – $d = d_b$; для болтов класса точности B в конструкциях опор ВЛ, ОРУ и контактных сетей – $d = d_b + 1 \text{ мм}$; в остальных случаях – $d = d_b + (1; 2 \text{ или } 3 \text{ мм})$, где d_b – диаметр болта. В одноболтовых соединениях элементов решетки (раскосов и распорок), кроме постоянно работающих на растяжение, при толщине элементов до 6 мм из стали с пределом текучести до 375 Н/мм^2 расстояние от края элемента до центра отверстия вдоль усилия принимают $1,35d$ (без допуска при изготовлении элементов в сторону уменьшения, о чем указывают в проекте). При размещении болтов в шахматном порядке на расстоянии не менее указанного в поз. 3, площадь сечения элемента A_n определяют с учетом ослабления его отверстиями, расположенными в одном сечении поперек усилия (не по зигзагу)</p>	

Коэффициент условий работы болтового соединения определяют по таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Значение коэффициента условий работы болтового соединения γ_b

Характеристика		Характеристическое значение предела текучести стали соединяемых элементов f_{yk} , Н/мм ²	Значения $\frac{a}{d}, \frac{s}{d}$	Значение коэффициента γ_b
болтового соединения	напряженного состояния			
1	2	3	4	5
Одноболтовое (болт классов точности A , B или высокопрочный)	Срез	–	–	1,0
	Смятие	До 285 включ.	$1,5 \leq \frac{a}{d} \leq 2$	$0,4 \leq \frac{a}{d} + 0,2$
			$1,35 \leq \frac{a}{d} < 1,5$	$\frac{a}{d} - 0,7$
		Св. 285 до 375 включ.	$1,5 \leq \frac{a}{d} \leq 2$	$0,5 \leq \frac{a}{d}$

Окончание таблицы 5.2

1	2	3	4	5
			$1,35 \leq \frac{a}{d} < 1,5$	$0,67 \leq \frac{a}{d} - 0,25$
		Св. 375	$\frac{a}{d} \geq 2,5$	1,0
Многоболтовое (болты класса точности A)	Срез	–	–	1,0
	Смятие	До 285 включ.	$1,5 \leq \frac{a}{d} \leq 2$	$0,4 \leq \frac{a}{d} + 0,2$
			$2 \leq \frac{s}{d} \leq 2,5$	$0,4 \leq \frac{s}{d}$
		Св. 285 до 375 включ.	$1,5 \leq \frac{a}{d} \leq 2$	$0,5 \leq \frac{a}{d}$
			$2 \leq \frac{s}{d} \leq 2,5$	$0,5 \leq \frac{s}{d} - 0,25$
		Св. 375	$\frac{a}{d} \geq 2,5$	1,0
$\frac{s}{d} \geq 3$				
<p><i>Примечание</i> – Обозначения, принятые в таблице: a – расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия; s – расстояние вдоль усилия между центрами отверстий; d – диаметр отверстия для болта. Для расчета многоболтового соединения на срез и смятие для болтов класса точности B, а также для высокопрочных болтов без регулируемого натяжения при всех характеристических значениях предела текучести f_{yk} стали соединяемых элементов значения коэффициента γ_b умножают на 0,9. Для расчета многоболтового соединения на смятие принимают меньшее из значений γ_b, вычисленных при принятых значениях d, a, s</p>				

Площади сечения болтов приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Площади сечения болтов

d , мм	16	(18)	20	(22)	24	(27)	30	36	42	48
A_b , см ²	2,01	2,54	3,14	3,80	4,52	5,72	7,06	10,17	13,85	18,09
$A_{b,n}$, см ²	1,57	1,92	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,16	11,20	14,72
<p><i>Примечание</i> – Площадь сечения болта диаметром более 48 мм принимают по действующим стандартам. Размеры, приведенные в скобках, применяют только в конструкциях опор ВЛ и ОРУ</p>										

В таблице 5.4 приведены характеристические значения предела прочности и предела текучести стали болтов и расчетные значения прочности одноболтовых соединений на срез и растяжение.

Расчетные значения прочности на смятие элементов, соединяемых болтами, представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.4 – Характеристические значения предела прочности и предела текучести стали болтов и расчетные значения прочности одноболтовых соединений на срез и растяжение

Класс прочности болтов	f_{buk}	f_{byk}	f_{bs}	f_{bt}
4.6	400	240	150	170
5.6	500	300	210	225
5.8	500	400	210	–
8.8	830	664	332	451
10.9	1040	936	416	561
12.9	1220	1098	4427	–

Таблица 5.5 – Расчетные значения прочности на смятие элементов, соединяемых болтами

Характеристическое значение предела прочности стали соединяемых элементов f_{uk} , Н/мм ²	Расчетное значение прочности f_{bp} на смятие элементов, Н/мм ² , соединяемых болтами класса точности	
	<i>A</i>	<i>B</i>
360	560	475
370	580	485
380	590	500
390	610	515
430	670	565
440	685	580
450	700	595
460	720	605
470	735	620
480	750	630
490	765	645
510	795	670
540	845	710
570	890	750
590	920	775

Характеристические и расчетные значения предела прочности на растяжение высокопрочных болтов из стали 40Х представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Характеристические и расчетные значения предела прочности на растяжение высокопрочных болтов из стали 40Х

Номинальный диаметр резьбы d , мм	f_{buk} , Н/мм ²	f_{bh} , Н/мм ²
16, (18), 20, (22), 24, (27)	1078	755
30	900	630
36	800	560
42	650	455
48	600	420

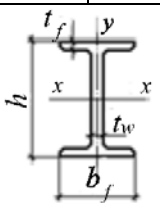
Примечание – Диаметр, указанный в скобках, применять не рекомендуется

6 Сортамент

В таблицах 6.1–6.5 представлен сортамент профилей и листового проката.

Таблица 6.1 – Балки двутавровые (выборка из ГОСТ 8239–89)

Но- мер про- филя	Размер, мм				A , см ²	G , кг/м	I_x , см ⁴	W_x , см ³	S_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см
	h	b_f	t_f	t_w									
10	100	55	7,2	4,5	12	9,46	198	39,7	23	4,06	17,9	6,49	1,22
12	120	64	7,3	4,8	14,7	11,5	350	58,4	33,7	4,88	27,9	8,72	1,38
14	140	73	7,5	4,9	17,4	13,7	572	81,7	46,8	5,73	41,9	11,5	1,55
16	160	81	7,8	5	20,2	15,9	873	109	62,3	6,57	58,6	14,5	1,7
18	180	90	8,1	5,1	23,4	18,4	1290	143	81,4	7,42	82,6	18,4	1,88
20	200	100	8,4	5,2	26,8	21	1840	184	104	8,28	115	23,1	2,07
22	220	110	8,7	5,4	30,6	24	2550	232	131	9,13	157	28,6	2,27
24	240	115	9,5	5,6	34,8	27,3	3460	289	163	9,97	198	34,5	2,37
27	270	125	9,8	6	40,2	31,5	5010	371	210	11,2	260	41,5	2,54
30	300	135	10,2	6,5	46,5	36,5	7080	472	268	12,3	337	49,9	2,69
33	330	140	11,2	7	53,8	42,2	9840	597	339	13,5	419	59,9	2,79
36	360	145	12,3	7,5	61,9	48,6	13380	743	423	14,7	516	71,1	2,89
40	400	155	13	8,3	72,6	57	19062	953	545	16,2	667	86,1	3,03
45	450	160	14,2	9	84,7	66,5	27696	1231	708	18,1	808	101	3,09
50	500	170	15,2	10	100	78,5	39727	1598	919	19,9	1043	123	3,23
55	550	180	16,5	11	118	92,6	55962	2035	1181	21,8	1356	151	3,39
60	600	190	17,8	12	138	108	78806	2560	1491	23,6	1725	182	3,54



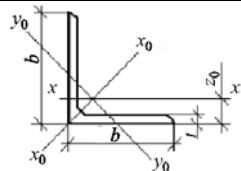
Примечание – A – площадь поперечного сечения; h – высота балки; G – масса 1 м, кг; b_f – ширина полки; I – момент инерции; t_f – толщина полки; W – момент сопротивления; t_w – толщина стенки; S – статический момент полусечения; i – радиус инерции

Таблица 6.2 – Уголки стальные горячекатаные равнополочные по ГОСТ 8509–93

b, мм	t, мм	G, кг	A, см ²	Справочные данные для осей						z ₀ , мм	i _y , см, при зазоре a, мм		
				x – x		x ₀ – x ₀		y ₀ – y ₀			8	10	12
				I _x , см ⁴	i _x , см	I _{x0} , см ⁴	i _{x0} , см	I _{y0} , см ⁴	i _{y0} , см				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
40	4	2,42	3,08	4,58	1,22	7,26	1,53	1,9	0,78	1,13	1,96	2,04	2,12
	5	2,98	3,79	5,53	1,21	8,75	1,52	2,3	0,78	1,17	1,98	2,05	2,53
45	4	2,73	3,48	6,63	1,38	10,52	1,74	2,74	0,89	1,26	2,16	2,24	2,32
	5	3,37	4,29	8,03	1,37	12,74	1,72	3,33	0,88	1,3	2,18	2,26	2,34
50	4	3,05	3,89	9,21	1,54	14,63	1,94	3,8	0,99	1,38	2,35	2,43	2,51
	5	3,77	4,8	11,2	1,53	17,77	1,92	4,63	0,98	1,42	2,38	2,45	2,53
56	4	3,44	4,38	13,1	1,73	20,79	2,18	5,41	1,11	1,52	2,58	2,66	2,73
	5	4,25	5,41	15,97	1,72	25,36	2,16	6,59	1,1	1,57	2,61	2,72	2,77
63	4	3,9	4,96	18,86	1,95	29,9	2,45	7,81	1,25	1,69	2,86	2,91	3,01
	5	4,81	6,13	23,1	1,94	36,6	2,44	9,52	1,25	1,74	2,89	2,96	3,04
	6	5,72	7,28	27,06	1,93	42,94	4,43	11,18	1,24	1,78	2,9	2,99	3,06
70	5	5,38	6,86	31,94	2,16	50,67	2,72	13,22	1,39	1,9	3,16	3,23	3,3
	6	6,39	8,15	37,58	2,15	59,64	2,71	15,52	1,38	1,94	3,18	3,25	3,33
	7	7,39	9,42	42,98	2,14	68,19	2,69	17,77	1,37	1,99	3,3	3,28	3,36
	8	8,37	10,67	48,16	2,12	76,35	2,68	19,97	1,37	2,02	3,22	3,29	3,37
75	5	5,8	7,39	39,53	2,31	62,65	2,91	16,41	1,49	2,02	3,35	3,42	2,49
	6	6,89	8,78	46,57	2,3	73,87	2,9	19,28	1,48	2,06	3,37	3,44	3,52
	7	7,96	10,15	53,34	2,29	84,61	2,89	22,07	1,47	2,1	3,4	3,47	3,54
	8	9,02	11,5	59,84	2,28	94,89	2,87	24,8	1,47	2,15	3,43	3,5	3,57
	9	10,07	12,83	66,1	2,27	104,72	2,86	27,48	1,46	2,18	3,44	3,51	3,59
80	6	7,36	9,38	56,97	2,47	90,4	3,11	23,54	1,58	2,19	3,58	3,65	3,72
	7	8,51	10,85	65,31	2,45	103,66	3,09	26,97	1,58	2,23	3,6	3,67	3,75
	8	9,65	12,3	73,36	2,44	116,39	3,08	30,32	1,57	2,27	3,62	3,69	3,77
90	6	8,33	10,61	82,1	2,78	130,22	3,5	33,97	1,79	2,43	3,64	4,05	4,11
	7	9,64	12,28	94,3	2,77	149,67	3,49	38,94	1,78	2,47	3,99	4,06	4,13
	8	10,93	13,93	106,11	2,76	168,42	3,48	43,8	1,77	2,51	4,01	4,08	4,16
	9	12,2	15,6	118	2,75	186	3,46	48,6	1,77	2,55	4,04	4,11	4,18
100	7	10,79	13,75	13,59	3,08	207,01	3,88	54,16	1,98	2,71	4,38	4,45	4,52
	8	12,25	15,6	147,19	3,07	233,46	3,87	60,92	1,98	2,75	4,4	4,47	4,54
	14	20,63	26,28	237,14	3	374,98	3,78	99,32	1,94	2,99	4,53	4,6	4,68
	16	23,3	29,68	263,82	2,98	416,04	3,74	111,6	1,94	3,06	4,57	4,64	4,72
110	7	11,89	15,15	175,61	3,4	278,54	4,29	72,68	2,19	2,96	4,78	4,85	4,92

Окончание таблицы 6.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
125	8	15,46	19,69	294,36	3,87	466,76	4,87	121,96	2,49	3,36	5,39	5,46	5,55
	9	17,3	22	327,48	3,86	520	4,86	135,38	2,48	3,4	5,41	5,48	5,56
	10	19,1	24,33	359,82	3,85	571,04	4,84	148,59	2,47	3,45	5,44	5,52	5,58
	12	22,68	28,89	422,23	3,82	670,02	4,82	174,43	2,46	3,53	5,48	5,55	5,62
	14	26,2	33,37	481,76	3,8	763,9	4,78	199,62	2,45	3,61	5,52	5,6	5,67
	16	29,65	37,77	538,56	3,78	852,84	4,75	224,29	2,44	3,68	5,56	5,63	5,72
140	9	19,41	24,72	465,72	4,34	739,42	5,47	192,03	2,79	3,78	6,02	6,1	6,16
	10	21,45	27,33	512,29	4,33	813,62	5,46	210,96	2,78	3,82	6,05	6,12	6,19
	12	25,5	32,49	602,49	4,31	956,98	5,43	248,01	2,76	3,9	6,08	6,15	6,25
160	10	24,67	31,43	774,24	4,96	1229,1	6,25	319,3	3,19	4,3	6,84	6,91	6,97
	11	27,02	34,42	844,21	4,95	1340,66	6,24	347,77	3,18	4,35	6,86	6,93	7
	12	28,35	37,39	912,89	4,94	1450	6,23	375,78	3,17	4,39	6,88	6,95	7,02
	14	33,97	43,57	1046,47	4,92	1662,13	6,2	430,84	3,16	4,47	6,91	6,98	7,05
	16	38,52	49,07	1175,19	4,89	1865,73	6,17	484,64	3,14	4,55	6,95	7,03	7,1
	18	43,01	54,79	1290,24	4,87	2061,03	6,13	537,46	3,13	4,63	7	7,07	7,14
	20	47,44	60,4	1418,85	4,85	2248,26	6	589,43	3,12	4,7	7,04	7,11	7,18
180	11	30,47	38,8	1216,44	5,6	1933,1	7,06	499,78	3,59	4,85	7,67	7,74	7,81
	12	33,12	42,19	1316,62	5,59	2092,78	7,04	540,45	3,58	4,89	7,69	7,76	7,83
200	12	36,97	47,1	1822,78	6,22	2,896,16	7,84	749,4	3,99	5,37	8,48	8,55	8,62
	13	39,92	50,85	1960,77	6,21	3116,18	7,83	805,35	3,98	5,42	8,5	8,58	8,64
	14	42,8	54,6	2097	6,2	3333	7,81	861	3,97	5,46	8,52	8,6	8,66
	16	48,65	61,98	2362,57	6,17	3755,39	7,78	969,74	3,96	5,54	8,56	8,64	8,7
	20	60,08	76,54	2871,47	6,12	4560,42	7,72	1181,92	3,93	5,7	8,65	8,72	8,79
	25	74,02	94,29	3466,21	6,06	5494,04	7,63	1438,38	3,91	5,89	8,74	8,81	8,88
	30	87,56	111,54	4019,6	6	6351,05	7,55	1688,16	3,89	6,07	8,83	8,9	8,97
220	14	47,4	60,38	2814,36	6,83	4470,15	8,6	1158,56	4,38	5,91	9,31	9,37	9,45
	16	53,83	68,58	3175,44	6,8	5045,37	8,58	1305,52	4,36	6,02	9,35	9,42	9,49
250	16	61,55	78,4	4717,1	7,76	7492,1	9,78	1942,09	4,98	6,75	10,55	10,62	10,68
	18	68,86	87,72	5247,24	7,73	8336,69	9,75	2157,78	4,96	6,83	10,58	10,65	10,72
	20	76,1	96,96	5764,87	7,71	9159,73	9,72	2370,01	4,94	6,91	10,62	10,69	10,76
	22	83,31	106,12	6270,32	7,69	9961,6	9,69	2579,04	4,93	7	10,67	10,74	10,81
	25	93,97	119,71	7006,39	7,65	11125,52	9,64	2887,26	4,91	7,11	10,72	10,79	10,86
	28	104,5	133,12	7716,86	7,61	12243,84	9,59	3189,89	4,9	7,23	10,78	10,85	10,92
	30	111,44	141,96	8176,82	7,59	12964,66	9,56	3388,98	4,89	7,31	10,82	10,89	10,96



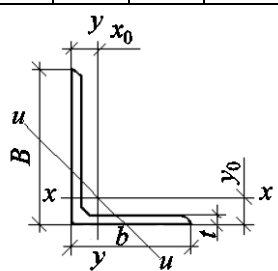
Примечание – b – ширина полки; t – толщина полки; I_x, I_{x0}, I_y, I_{y0} – моменты инерции; i_x, i_{x0}, i_y, i_{y0} – радиусы инерции; A – площадь сечения; G – масса 1 м, кг

Таблица 6.3 – Уголки стальные горячекатаные неравнополочные по ГОСТ 8510–86

B, мм	b, мм	t, мм	G, кг	A, см ²	Справочные данные для осей					x ₀ , мм	y ₀ , мм	i _y , см, при за- зоре a, мм		
					x – x		y – y		u – u			8	10	12
					I _x , см ⁴	i _x , см	I _y , см ⁴	i _y , см	i _{umin}					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	40	4	3,17	4,04	16,33	2,01	5,16	1,13	0,87	0,91	2,03	1,73	1,81	1,89
		5	3,91	4,98	19,91	2	6,26	1,12	0,86	0,95	2,08	1,75	1,83	1,91
		6	4,63	5,9	23,31	1,99	7,29	1,11	0,86	0,99	2,12	1,78	1,89	1,94
		8	6,03	7,68	29,6	1,96	9,15	1,09	0,85	1,07	2,2	1,83	1,91	1,99
75	50	5	4,79	6,11	34,81	2,39	12,47	1,43	1,09	1,17	2,39	2,13	2,21	2,28
		6	5,69	7,25	40,92	2,38	14,6	1,42	1,08	1,21	2,44	2,15	2,22	2,3
		8	7,43	9,47	52,38	2,35	18,52	1,4	1,07	1,29	2,52	2,19	2,27	2,37
80	50	5	4,99	6,36	41,64	2,56	12,68	1,41	1,09	1,13	2,6	2,09	2,16	2,23
		6	5,92	7,55	48,98	2,55	14,85	1,4	1,08	1,17	2,65	2,1	2,18	2,26
90	56	5,5	6,17	7,86	65,28	2,88	19,67	1,58	1,22	1,26	2,92	2,29	2,36	2,44
		6	6,7	8,54	70,58	2,88	21,22	1,58	1,22	1,28	2,95	2,3	2,38	2,45
		8	6,7	8,54	70,58	2,88	21,22	1,58	1,22	1,28	2,95	2,3	2,38	2,45
100	63	6	7,53	9,59	98,29	3,2	30,58	1,79	1,38	1,42	3,23	2,55	2,52	2,7
		7	8,7	11,09	112,9	3,19	34,99	1,78	1,37	1,46	3,28	2,57	2,64	2,72
		8	9,87	12,57	127	3,18	39,21	1,77	1,36	1,5	3,32	2,59	2,66	2,74
		10	12,14	15,47	133,8	3,15	47,13	1,75	1,35	1,58	3,4	2,64	2,71	2,79
110	70	6,5	8,98	11,45	142,4	3,53	45,61	2	1,53	1,58	3,55	2,81	2,88	2,96
		8	10,93	13,93	171,5	3,51	54,64	1,98	1,52	1,64	3,61	2,84	2,92	2,99
125	80	7	11,04	14,06	226,5	4,01	73,73	2,29	1,76	1,8	4,01	3,17	3,24	3,31
		8	12,53	15,96	255,6	4	82,95	2,28	1,75	1,84	4,05	3,19	3,27	3,34
		10	15,47	19,7	311,6	3,98	100,5	2,26	1,74	1,92	4,14	3,23	3,31	3,38
		12	18,34	23,36	364,8	3,95	116,8	2,24	1,72	2	4,22	3,28	3,35	3,43
140	90	8	14,13	18	363,7	4,49	119,8	2,58	1,98	2,03	4,49	3,55	3,61	3,69
		10	17,46	22,24	444,5	4,47	145,5	2,56	1,96	2,12	4,58	3,6	3,67	3,74
160	100	9	17,96	22,87	606	5,15	186	2,85	2,2	2,24	5,19	3,87	3,95	4,02
		10	19,85	25,28	666,6	5,13	204,1	2,84	2,19	2,28	5,23	3,9	3,97	4,04
		12	23,58	30,04	784,2	5,11	238,8	2,82	2,18	2,36	5,32	3,95	4,02	4,09
		14	27,26	34,72	897,2	5,08	271,6	2,8	2,16	2,43	5,4	3,98	4,05	4,13
180	110	10	22,24	28,33	952,3	5,8	276,4	3,12	2,42	2,44	5,88	4,22	4,29	4,36
		12	26,44	33,69	1123	5,77	324,1	3,1	2,4	2,52	5,97	4,26	4,33	4,4
200	125	11	27,37	34,87	1449	6,45	446,4	3,58	2,75	2,79	6,5	4,79	4,86	4,93
		12	29,74	37,89	1568	6,43	481,9	3,57	2,74	2,83	6,54	4,81	4,88	4,95
		14	34,43	43,87	1801	6,41	550,8	3,54	2,73	2,91	6,62	4,85	4,92	4,99
		16	39,07	49,77	2026	6,38	616,7	3,52	2,72	2,99	6,71	4,89	4,95	5,03

Окончание таблицы 6.3

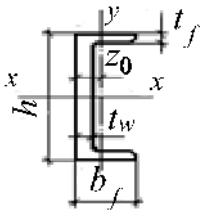
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
250	160	12	37,9	48,32	3147	8,07	1032	4,62	3,64	3,53	7,97	6,07	6,13	6,2
		16	49,9	63,59	4091	8,02	1333	4,58	3,5	3,69	8,14	6,14	6,21	6,27
		18	55,8	71,13	4545	7,99	1475	4,56	3,49	3,77	8,23	6,18	6,24	6,31
		20	61,7	78,54	4987	7,97	1613	4,53	3,48	3,85	8,31	6,2	6,28	6,35



Примечание – b – ширина полки; t – толщина полки; I_x, I_y – моменты инерции; i_x, i_y, i_{umin} – радиусы инерции; A – площадь сечения; G – масса 1 м, кг

Таблица 6.4 – Швеллеры (выборка из ГОСТ 8240–97)

Номер профиля	Размер, мм			A , см ²	G , кг/м	I_x , см ⁴	W_x , см ³	S_x , см ³	i_x , см	I_y , см ⁴	W_y , см ³	i_y , см	z_0 , см
	h	b_f	t_w										
10	100	46	4,5	10,9	8,59	174	34,8	20,4	3,99	20,4	6,46	1,37	1,44
12	120	52	4,8	13,3	10,4	305	50,6	29,6	4,78	31,2	8,52	1,53	1,54
14	140	58	4,9	15,6	12,3	491	70,2	40,8	5,6	45,4	11	1,7	1,67
16	160	64	5	18,1	14,2	747	93,4	54,1	6,42	63,3	13,8	1,87	1,8
18	180	70	5,1	20,7	16,3	1090	121	69,8	7,24	86	17	2,04	1,94
20	200	76	5,2	23,4	18,4	1520	152	87,8	8,07	113	20,5	2,2	2,07
22	220	82	5,4	26,7	21	2110	192	110	8,89	151	25,1	2,37	2,21
24	240	90	5,6	30,6	24	2900	242	139	9,73	208	31,6	2,6	2,42
27	270	95	6	35,2	27,7	4160	308	178	10,9	262	37,3	2,73	2,47
30	300	100	6,5	40,5	31,8	5810	387	224	12	327	43,6	2,84	2,52
33	330	105	7	46,5	36,5	7980	484	281	13,1	410	51,8	2,97	2,59
36	360	110	7,5	53,4	41,9	10820	601	350	14,2	513	61,7	3,1	2,68
40	400	115	8	61,5	48,3	15220	761	444	15,7	642	73,4	3,23	2,75



Примечание – G – масса 1 м, кг; h – высота балки; I – момент инерции; b_f – ширина полки; W – момент сопротивления; t_w – толщина стенки; S – статический момент полусечения; A – площадь сечения; i – радиус инерции; z_0 – расстояние от оси y - y до наружной грани стенки

Таблица 6.5 – Сортамент проката, применяемого для настила

Сталь толстолистовая ГОСТ 19903–2015		
Размер листов		Значение размеров, мм
Длина		710; 1200; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2200; 2500; 2800; 3000; 3200; 3400; 3500; 3600; 4000; 4500; 5000; 5500; 6000; 6500; 7000; 7500; 8000; 8200; 8500; 9000; 10000; 11000; 12000
Ширина		500; 510; 600; 650; 670; 700; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1100; 1250; 1400; 1420; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2100; 2200; 2300; 2400; 2500; 2600; 2700; 2800; 2900; 3000; 3200; 3400; 3600; 3800; 4000; 4200; 4400
Толщина		6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0 9,5; 10,0; 10,5; 11,0; 11,5; 12,0; 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5; 16,0; 16,5; 17,0; 17,5; 18,0; 18,5; 19,0; 19,5; 20,0; 20,5; 21,0; 21,5; 22,0; 22,5; 23,0; 23,5; 24,0; 24,5; 25,0; 25,5; 26,0; 27,0; 28,0; 29,0; 30,0; 31,0; 32,0; 34,0; 36,0; 38,0; 40,0; 42,0; 45,0; 48,0; 50,0; 52,0; 55,0; 58,0; 60,0; 62,0; 65,0; 68,0; 70,0; 72,0; 75,0; 78,0; 80,0; 82,0; 85,0; 87,0; 90,0; 92,0; 95,0; 100,0
Сталь листовая рифленая ГОСТ 8568–77		
Ромбическая сталь		Чечевичная сталь
Толщина основания листа, мм	Масса 1 м ² , кг	Толщина основания листа
6	51,0	6
8	74,6	8
10	98,1	10
12	129,5	12

Список литературы

1 СН 2.01.01–2019. Основы проектирования строительных конструкций. – Введ. 16.12.2019 (с отменой ТКП EN 1990–2011 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 89 с.

2 СН 2.01.02–2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Объемный вес, собственный вес, функциональные нагрузки для зданий. – Введ. 16.12.2019 (с отменой ТКП EN 1991-1-1–2016 (33020)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 39 с.

3 СН 2.01.04-2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки. – Введ. 16.12.2019 (с отменой ТКП EN 1991-1-3-2009 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 42 с.

4 СН 2.01.05–2019. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия. – Введ. 16.12.2019 (с отменой ТКП EN 1991-1-4–2009 (02250)). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 127 с.

5 ТКП EN 1991-3–2009 (02250). Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Ч. 3: Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием. Введ. 16.12.2009. – Минск: Минстройархитектуры, 2009. – 75 с.

6 СП 5.04.01–2021. Стальные конструкции. – Введ. 01.10.2021 (с отменой СНиП II-23-81*). – Минск: Минстройархитектуры, 2021. – 153 с.