

Под редакцией Шурина А. Б.



---

# МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ

---

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Eurocode

EN 1993-1-8

EN 1993-1-8

Eurocode

EN 1993-1-8

EN 1993-1-8

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

# **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ**

**Под редакцией А. Б. Шурина**

*Допущено Министерством образования Республики Беларусь в качестве  
учебного пособия для студентов учреждений высшего образования  
по специальности «Промышленное и гражданское строительство»*

**Брест 2020**

УДК 624.014(075.8)

ББК 38.54я73

М54

**Рецензенты:** главный научный сотрудник Государственного предприятия «Институт жилища-НИПТИС им. Атаева С.С.», д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки Республики Беларусь **Т. М. Пецольд**;  
доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство» Межгосударственного учреждения высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», к.т.н., доцент **В. С. Михальков**

**М54** **Металлические конструкции** / А. Б. Шурин [и др.] ; под ред. А. Б. Шурина. – Брест: Издательство БрГТУ, 2020. – 177 с.

**ISBN 978-985-493-493-8**

Настоящее пособие составлено в соответствии требованиями ЕВРОКОДОВ, стандартов Республики Беларусь и межгосударственных стандартов, а также методических материалов по расчету и проектированию металлических конструкций, действующих на территории Республики Беларусь по состоянию на 01 марта 2020 года. Приведены основные сведения о сталях, общие положения и примеры расчета и конструирования стальных конструкций.

Для студентов строительных специальностей высших учебных заведений, инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся проектированием и освидетельствованием технического состояния стальных конструкций зданий и сооружений

УДК 624.014(075.8)

ББК 38.54я73

**ISBN 978-985-493-493-8**

© Коллектив авторов, 2020

© Издательство БрГТУ, 2020

# ОГЛАВЛЕНИЕ

	<u>Стр.</u>
<b>Введение</b>	6
<b>Обозначения</b>	8
<b>Глава 1. Общие вопросы расчета металлических конструкций.</b>	
<b>Стали и их характеристики</b>	11
1.1 Стали и их характеристики	11
1.1.1 Номинальные значения предела текучести $f_y$ и предела прочности на растяжение (временного сопротивления) $f_u$ горячекатаной конструкционной стали по EN 10025, EN 10210-1, EN 10219-1	11
1.1.2 Номинальные значения предела текучести $f_y$ и предела прочности (временного сопротивления) $f_u$ стали при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополочного универсального и фасонного проката по ГОСТ 27772-88	12
1.1.3 Номинальные значения предела текучести $f_y$ и предела прочности (временного сопротивления) $f_u$ стали при растяжении, сжатии и изгибе круглых труб	13
1.1.4 Номинальные значения предела текучести $f_y$ и предела прочности (временного сопротивления) $f_u$ стали при растяжении, сжатии и изгибе листового, широкополочного универсального и фасонного проката по ГОСТ 27772-2015	14
1.1.5 Требования к пластичности стали	15
1.1.6 Расчетные значения физических характеристик материалов	15
1.2 Частные коэффициенты $\gamma_m$	16
1.3 Рекомендуемые значения коэффициента условий работы $\gamma_c$	16
1.4 Условные обозначения осей элементов	14
1.5 Классификация поперечных сечений	18
<b>Глава 2. Сопротивление элементов и поперечных сечений</b>	21
2.1 Сопротивление поперечных сечений (проверки прочности)	21
2.1.1 Общие положения	21
2.1.2 Площадь поперечного сечения нетто $A_{net}$	21
2.1.3 Центральное растяжение	22
2.1.4 Центральное сжатие (прочность)	22
2.1.5 Изгиб	23
2.1.6 Сдвиг	23
2.1.7 Изгиб и сдвиг	24
2.1.8 Осевое усилие и изгиб	24
2.2 Сопротивление элементов (проверки устойчивости)	25
2.2.1 Центральное-сжатые элементы постоянного сечения	25
2.2.2 Изгибаемые элементы постоянного сечения	28
2.2.3 Сжато-изгибаемые (внецентренно-сжатые) элементы постоянного сечения	32
2.3 Определение критической сжимающей силы	35
2.3.1 Критическая сила плоской формы потери устойчивости центрально-сжатого стержня	35
2.3.2 Критическая сила по крутильной форме потери устойчивости центрально-сжатого стержня	35
2.3.3 Критическая сила по изгибно-крутильной форме потери устойчивости центрально-сжатого стержня	36
2.4 Определение критического изгибающего момента	36
2.5 Предельные гибкости	41

	<u>Стр.</u>
2.5.1 Предельные гибкости сжатых элементов	41
2.5.2 Предельные гибкости растянутых элементов	42
2.6 Расчетные длины	43
2.6.1 Коэффициенты $\mu$ для определения расчетных длин колонн и стоек постоянного сечения	43
2.6.2 Расчетные длины элементов стальных конструкций	43
Примеры расчета и конструирования изгибаемых элементов	44
Пример 2.1. Подбор сечения прокатной балки	44
Пример 2.2. Подбор сечения составной балки 3-го класса	46
Примеры расчета и конструирования колонн	56
Пример 2.3. Подбор сечения центрально-сжатой сплошной колонны	56
Пример 2.4. Подбор сечения центрально-сжатой сквозной колонны	56
Пример 2.5. Подбор сечения внецентренно-сжатой сквозной колонны	65
<b>Глава 3. Сварные соединения</b>	<b>70</b>
3.1 Материалы для сварных соединений	70
3.2 Номинальное значение временного сопротивления $f_u$ металла угловых швов для типов электродов и марок сварочной проволоки	70
3.3 Размеры катетов угловых сварных швов	71
3.4 Определение расчетных сопротивлений сварных швов	71
3.5 Эффективная толщина сварных швов $a$	72
3.6 Поправочный коэффициент $\beta_w$ для угловых сварных швов	75
3.7 Сварка в холоднодеформированных зонах	75
3.8 Основные типы сварных соединений ручной дуговой сварки по ГОСТ 5264-80	76
3.9 Основные типы сварных соединений дуговой сварки в защитных газах (в $CO_2$ ) по ГОСТ 14771-76*	79
Примеры расчета сварных соединений	82
Пример 3.1. Расчёт нахлесточного сварного соединения	82
Пример 3.2. Расчёт пробочного шва	83
Пример 3.3. Расчёт прикрепления уголков к фасонке	83
Пример 3.4. Расчёт крепления стального настила к балкам	84
Пример 3.5. Расчёт поясных швов составной балки	86
Пример 3.6. Расчет крепления консоли металлической колонны	87
<b>Глава 4. Болтовые соединения</b>	<b>89</b>
4.1 Частные коэффициенты $\gamma_M$ для болтовых соединений	89
4.2 Номинальные значения предела текучести $f_{yb}$ и временного сопротивления $f_{ub}$ для болтов	89
4.3 Площадь поперечного сечения стержня болта $A$ и площадь сечения болта при расчете на растяжение $A_s$	89
4.4 Категории болтовых соединений	90
4.4.1 Соединения, работающие на сдвиг	90
4.4.2 Соединения, работающие на растяжение	90
4.5 Расчетные значения сопротивлений сдвигу и/или растяжению одиночных крепежных деталей	91
4.6 Протяженные соединения	93
4.7 Фрикционные соединения на болтах классов прочности 8.8 и 10.9	93
4.7.1 Расчетное сопротивление сдвигу поверхностей трения	93
4.7.2 Совместное действие растяжения и сдвига	94
4.8 Расположение отверстий для болтов	95
4.9 Расчет на вырыв материала (выкол)	96
4.10 Размеры отверстий	97

	<u>Стр.</u>
4.11 Ограничения по условиям размеров «места под ключ» при монтаже болтовых соединений	98
4.12 Нормативные размеры, расчетные сопротивления анкерных болтов и максимальные расчетные усилия на болты	99
Примеры расчета болтовых соединений	100
Пример 4.1. Расчет и конструирование стыкового соединения на болтах класса точности В	100
Пример 4.2. Расчёт и конструирование стыкового соединения на высокопрочных болтах	102
Пример 4.3. Фланцевое соединение категории D	104
Пример 4.4. Фланцевое соединение категории E	105
<b>Глава 5. Расчет и конструирование узлов</b>	<b>107</b>
5.1 Сопряжения и опорные узлы балок	107
Пример 5.1. Опорный узел составной балки	107
Пример 5.2. Монтажный стык составной балки на накладках на высокопрочных болтах	109
Пример 5.3. Монтажный стык составной балки на фланцах	111
5.2 Монтажные стыки балок	113
Пример 5.4. Равнопрочный стык составной балки на сварке	113
Пример 5.5. Шарнирное сопряжение балок	116
Пример 5.6. Шарнирное сопряжение балок	121
5.3 Базы колонн	122
Пример 5.7. База центрально-сжатой сплошной колонны	122
Пример 5.8. База центрально-сжатой сквозной колонны	125
Пример 5.9. База внецентренно-сжатой сплошной колонны	129
5.4 Оголовки колонн	135
Пример 5.10. Оголовок центрально-сжатой сплошной колонны	135
Пример 5.11. Оголовок центрально-сжатой сквозной колонны	137
5.5 Расчет и конструирование узлов ферм из уголков	140
Пример 5.12. Промежуточный узел верхнего пояса фермы	140
Пример 5.13. Промежуточный узел нижнего пояса фермы	143
Пример 5.14. Монтажный узел нижнего пояса фермы	144
<b>Приложение А. Предельные состояния эксплуатационной пригодности</b>	<b>146</b>
<b>Приложение Б. Сортамент</b>	<b>149</b>
Б.1 Горячекатаные профили	149
Б.1.1 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. ГОСТ 8509-93	149
Б.1.2 Уголки стальные горячекатаные неравнополочные. ГОСТ 8510-86	154
Б.1.3 Швеллеры стальные горячекатаные. ГОСТ 8240-97	157
Б.1.4 Двутавры стальные горячекатаные. ГОСТ 8239-89	158
Б.1.5 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. ГОСТ 26020-83	159
Б.1.6 Двутавры стальные горячекатаные с параллельными гранями полок. ГОСТ Р 57837-2017 (СТО АСЧМ 20-93)	163
Б.2 Сортамент листового проката	167
<b>Приложение В. Расположение отверстий в прокатных профилях. Размеры</b>	<b>168</b>
<b>Список использованных источников</b>	<b>175</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь с 01.01.2010 введены в действие технические кодексы установившейся практики по проектированию конструкций, идентичные Еврокодам. Из них 33 ТКП EN разработаны с национальными приложениями в соответствии с европейским Руководством по внедрению Еврокодов. Вместе с введением данных норм специалисты столкнулись с проблемами, связанными с отсутствием учебной литературы в данной области. Настоящее пособие является первым на постсоветском пространстве, в котором справочные данные по проектированию стальных конструкций в соответствии с требованиями ТКП EN проиллюстрированы соответствующими примерами расчета и конструирования.

Настоящее пособие разработано в соответствии с требованиями ЕВРОКОДОВ, стандартов Республики Беларусь и межгосударственных стандартов, а также методических рекомендаций по расчету и проектированию металлических конструкций, действующих на территории Республики Беларусь по состоянию на 1 марта 2020 года, специалистами кафедр «Строительные конструкции» Брестского государственного технического университета и Белорусского национального технического университета.

Пособие рекомендовано Техническим комитетом по стандартизации в строительстве ТКС–09 «Металлические и деревянные конструкции» в качестве методических материалов по изучению курса «Металлические конструкции».

Рассчитано на студентов строительных специальностей высших учебных заведений для использования в ходе курсового и дипломного проектирования по курсу «Металлические конструкции» и для инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций, занимающихся проектированием и освидетельствованием технического состояния стальных конструкций зданий и сооружений. Нормативные и справочные материалы, приведенные в пособии, базируются на опыте проектирования следующих металлических конструкций: покрытие универсального спортивного комплекса для игровых видов спорта «Виктория» в г. Бресте, покрытие летнего амфитеатра в г. Витебске, каркаса мусороперерабатывающего завода в г. Бресте, перекрытия над ледовой площадкой в г. Гомеле и т. д.

Пособие состоит из пяти глав и трех приложений.

В первой главе приведены основные сведения о применяемых сталях по ТКП EN 1993-1-1 [26] и ГОСТ 27772 [3, 12], значения частных коэффициентов, представлена классификация поперечных сечений.

Глава 2 посвящена определению сопротивлений поперечных сечений и элементов по ТКП EN 1993-1-1 [26]. Приведены примеры расчета и конструирования прокатной и составной балок 3-го класса поперечного сечения и центрально-сжатой сплошной и сквозной колонн.

В главах 3 и 4 приведены основные сведения по расчету и конструированию сварных и болтовых соединений в соответствии с требованиями ТКП EN 1993-1-8 [28]. Примеры данных глав посвящены вопросам расчета и конструирования угловых и пробочных сварных швов и стыковых и фланцевых соединений на обычных и высокопрочных болтах.

Глава 5 посвящена расчету и конструированию следующих узлов стальных конструкций: опорного узла составной балки, шарнирных сопряжений балок, монтажного стыка составной балки на накладках с использованием высокопрочных болтов, на фланцах и равнопрочного стыка на сварке; оголовков и баз центрально- и внецентренно-сжатых колонн; узлов ферм из равнополочных уголков. Расчет и конструирование выполнено в соответствии с требованиями ТКП EN 1993-1-1 [26], ТКП EN 1993-1-5 [27] и ТКП EN 1993-1-8 [28].

В приложениях содержатся основные сведения о предельных состояниях эксплуатационной пригодности, приведен сортамент стальных горячекатаных профилей по ГОСТ 8509, ГОСТ 8510, ГОСТ 8239, ГОСТ 8240, ГОСТ 26020 и ГОСТ Р 57837 и листового проката, правила расположения отверстий в прокатных профилях.

# ОБОЗНАЧЕНИЯ

В настоящем пособии применяются нижеследующие обозначения.

## Глава 1

- $b$  — ширина поперечного сечения;
- $h$  — высота поперечного сечения;
- $d$  — высота прямой части стенки;
- $t_w$  — толщина стенки;
- $t_f$  — толщина полки;
- $r_1$  — радиус сопряжения полки со стенкой;
- $r_2$  — радиус закругления кромки полки;
- $t$  — толщина;
- $f_y$  — предел текучести;
- $f_u$  — предел прочности (временное сопротивление);
- $\varepsilon_y$  — деформация, соответствующая пределу текучести (упругая деформация);
- $\varepsilon_u$  — деформация, соответствующая пределу прочности (временному сопротивлению);
- $E$  — модуль упругости;
- $G$  — модуль сдвига;
- $\nu$  — коэффициент Пуассона для упругой стадии;
- $\alpha$  — коэффициент термического расширения.
- $\gamma_{M0}$  — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений по прочности независимо от класса;
- $\gamma_{M1}$  — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности элемента по устойчивости;
- $\gamma_{M2}$  — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений с использованием временного сопротивления стали.

## Глава 2

- $N_{Ed}$  — расчетная осевая сила;
- $M_{y,Ed}$  — расчетное значение изгибающего момента относительно оси  $y - y$ ;
- $M_{z,Ed}$  — расчетное значение изгибающего момента относительно оси  $z - z$ ;
- $N_{Rd}$  — расчетное значение несущей способности по осевой силе;
- $M_{y,Rd}$  — расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту относительно оси  $y - y$ ;
- $M_{z,Rd}$  — расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту относительно оси  $z - z$ ;
- $s$  — шаг при расположении в шахматном порядке, расстояние между центрами двух смежных отверстий, измеренное по линии, параллельной оси элемента;
- $p$  — расстояние между центрами тех же двух отверстий, измеренное по линии, перпендикулярной к оси элемента;
- $n$  — количество отверстий, расположенных на любой диагональной или зигзагообразной линии, проходящей через весь элемент или его часть;
- $d_0$  — диаметр отверстия;
- $A_{eff}$  — эффективная площадь поперечного сечения;
- $N_{t,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на растяжение;

- $N_{pl,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения брутто в пластической стадии;
- $N_{u,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения нетто в пластической стадии при наличии отверстий для болтов;
- $A_{net}$  — площадь поперечного сечения нетто;
- $N_{net,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения нетто на растяжение в пластической стадии;
- $N_{c,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения при равномерном сжатии;
- $M_{c,Rd}$  — расчетное значение несущей способности на изгиб относительно одной из главных осей поперечного сечения;
- $W_{pl}$  — момент сопротивления сечения в пластической стадии;
- $W_{el,min}$  — минимальный момент сопротивления сечения в упругой стадии;
- $W_{eff,min}$  — минимальный момент сопротивления эффективного сечения;
- $A_{f,net}$  — площадь сечения нетто растянутой полки;
- $V_{Ed}$  — расчетное значение поперечной силы;
- $V_{c,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на сдвиг;
- $V_{pl,Rd}$  — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на сдвиг в пластической стадии;
- $A_v$  — площадь сдвига;
- $S$  — статический момент сечения;
- $I$  — момент инерции поперечного сечения;
- $A_w$  — площадь поперечного сечения стенки;
- $A_f$  — площадь сечения одной полки;
- $N_{cr,TF}$  — критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по изгибно-крутильной форме;
- $N_{cr,T}$  — критическая сила потери устойчивости в упругой стадии по крутильной форме;
- $M_{b,Rd}$  — расчетное значение несущей способности изгибаемого элемента по устойчивости плоской формы изгиба;
- $M_{cr}$  — критический момент потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии.

### Глава 3

- $a$  — эффективная толщина сварного шва;
- $l_{eff}$  — эффективная длина углового сварного шва;
- $F_{w,Ed}$  — расчетное значение внешних усилий, действующих на единицу длины сварного шва;
- $F_{w,Rd}$  — расчетное значение сопротивления на единицу длины сварного шва.

### Глава 4

- $d$  — номинальный диаметр болта;
- $d_0$  — диаметр отверстия для болта;
- $e_1$  — расстояние от центра отверстия до ближайшего края элемента вдоль усилия, см. рисунок 4.3;
- $e_2$  — расстояние от центра отверстия до ближайшей кромки любого элемента поперек усилия, см. рисунок 4.3;

- $e_3$  — расстояние от оси овального отверстия до ближайшего края или кромки элемента при любом направлении усилия, см. рисунок 4.3;
- $n$  — количество поверхностей трения или количество крепежных отверстий, расположенных в плоскости сдвига;
- $p_1$  — расстояние между крепежными деталями вдоль усилия, см. рисунок 4.3;
- $p_{1,0}$  — расстояние между крепежными деталями крайнего ряда поперек усилия, см. рисунок 4.3;
- $p_{1,i}$  — расстояние между крепежными деталями среднего ряда поперек усилия, см. рисунок 4.3;
- $p_2$  — расстояние между смежными рядами крепежных деталей поперек усилия, см. рисунок 4.3;
- $A$  — площадь поперечного сечения стержня болта;
- $A_s$  — площадь растянутого болта или стержня анкерного болта;
- $A_{v,eff}$  — эффективная площадь сдвига;
- $B_{p,Rd}$  — расчетная несущая способность головки болта или гайки на отрыв при сдвиге;
- $F_{t,Ed}$  — расчетное усилие, на один болт в предельном состоянии по несущей способности;
- $F_{t,Rd}$  — расчетная несущая способность одного болта на растяжение;
- $F_{v,Rd}$  — расчетная несущая способность одного болта на срез;
- $F_{b,Rd}$  — расчетная несущая способность одного болта на смятие;
- $F_{s,Rd,ser}$  — расчетная несущая способность одного болта при сдвиге поверхностей в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности;
- $F_{s,Rd}$  — расчетная несущая способность одного болта при сдвиге поверхностей в предельном состоянии по несущей способности;
- $F_{v,Ed,ser}$  — расчетное усилие в предельном состоянии по эксплуатационной пригодности на один болт;
- $F_{v,Ed}$  — расчетное усилие в предельном состоянии по несущей способности на один болт;
- $\mu$  — коэффициент трения.

## Глава 5. Расчет и конструирование узлов

### 5.1 Сопряжения и опорные узлы балок

#### Пример 5.1. Опорный узел составной балки

Запроектировать опорный узел сварной составной балки (рисунок 5.1). Сталь С245 по ГОСТ 27772-88. Опорная реакция балки  $V_{Ed} = 1150$  кН.

**Назначаем размеры опорного ребра.** Опорную часть балки из соображений центральной передачи усилия на колонну проектируем в соответствии с ТКП EN 1993-1-5 [27] (рисунок 5.1 б – с жесткой опорной частью). Ширину опорного ребра принимаем равной ширине полки в опорной части  $b_r = b_f = 260$  мм.

Определяем требуемую площадь опорного ребра

$$A_r = \frac{V_{Ed} \cdot \gamma_{m0}}{f_y} = \frac{1150 \cdot 1,025 \cdot 10}{245} = 48,11 \text{ см}^2,$$

где  $\gamma_{m0} = 1,025$  – частный коэффициент (таблица 1.8);

$f_y = 245$  МПа – предел текучести стали С245 (таблица 1.3).

Тогда требуемая толщина опорного ребра  $t_r \geq \frac{A_r}{b_r} = \frac{48,11}{26} = 1,85$  см.

В соответствии с таблицей Б.7 Приложения Б принимаем толщину опорного ребра  $t_r = 20$  мм  $\geq 12$  мм. Площадь опорного ребра сечением – 260х20 составляет  $A_r = 26 \cdot 2 = 52$  см<sup>2</sup>.

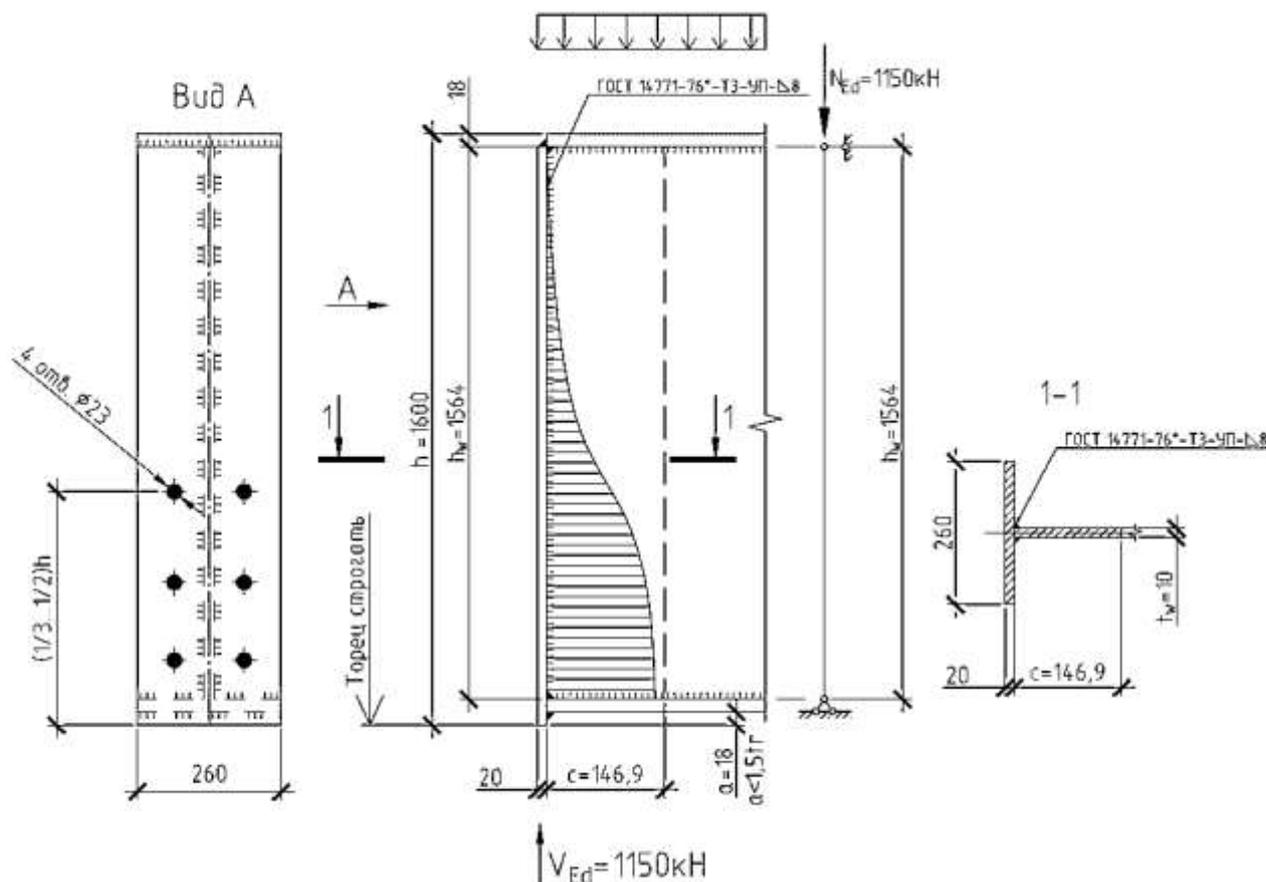


Рисунок 5.1 – Опорный участок балки

#### Класс сжатой полки опорного ребра

$$c_r = \frac{(b_r - t_w)}{2} = \frac{26 - 1,0}{2} = 12,5 \text{ см};$$

### Пример 5.2. Шарнирное сопряжение балок

Запроектировать шарнирное сопряжение балок, показанное на рисунке 5.2. Материал балок – сталь С285 по ГОСТ 27772-88. Опорная реакция второстепенной балки  $V=140$  кН.

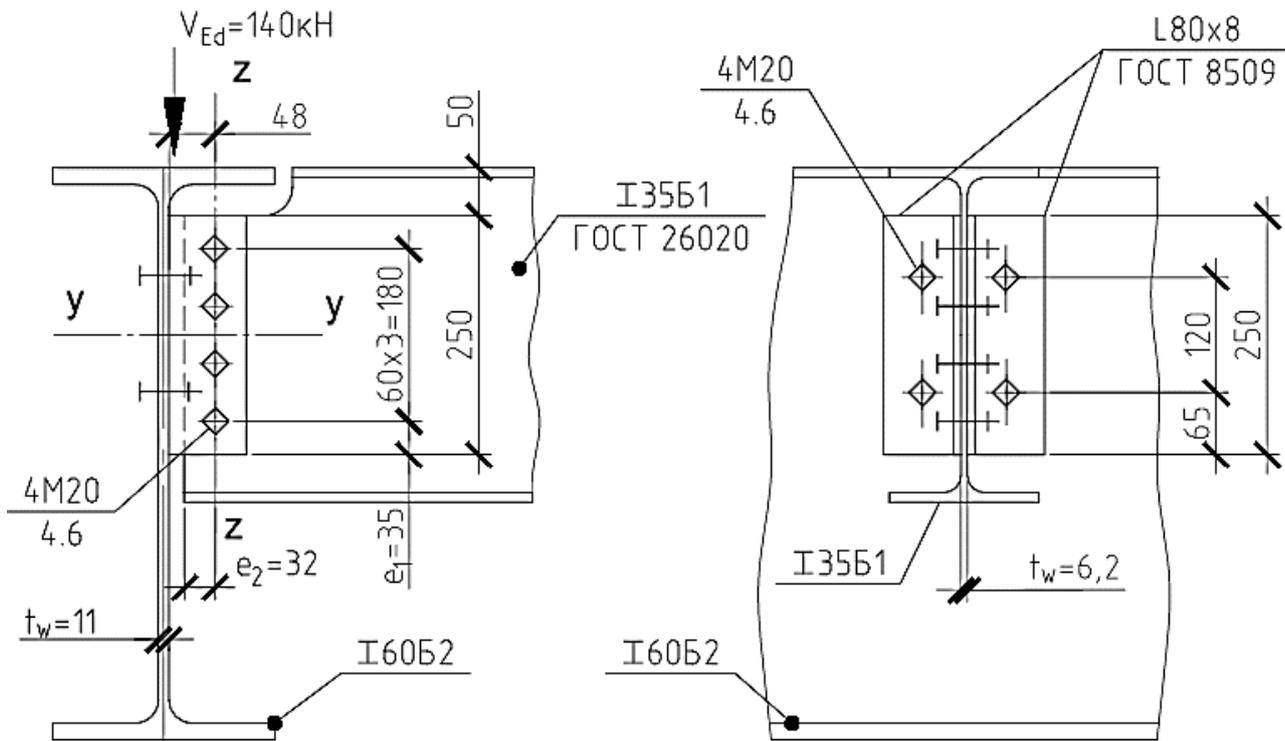


Рисунок 5.2 – Шарнирное сопряжение балок

Стык проектируем на болтах при помощи накладок из уголков L80x80x8 по ГОСТ 8509. Применяем болты М20 класса прочности 4.6. Предельное усилие, воспринимаемое одним болтом при одной плоскости среза, определяем по формуле 4.2 (таблица 4.5)

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 400 \cdot 2,45 \cdot 10^{-1}}{1,3} = 45,23 \text{ кН},$$

где  $f_{ub} = 400$  МПа – временное сопротивление болта класса прочности 4.6 (таблица 4.2);

$A_s = 2,45$  см<sup>2</sup> – площадь поперечного сечения болта нетто (таблица 4.3).

В соответствии с таблицей 4.10 принимаем нормальные отверстия, тогда  $d_0 = 22$  мм.

Тогда предельное усилие смятия наиболее тонкого элемента (стенка балки двутавра 35Б1 по ГОСТ 26020) определяется при следующих параметрах (таблица 4.5).

$$\text{Для крайних болтов } \alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{35}{3 \cdot 22} = 0,53.$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{400} = 1,0,$$

где  $f_u = 400$  МПа – предел прочности стали С285 (таблица 1.3).

$$k_1 = \frac{2,8e_2}{d_0} - 1,7 = \frac{2,8 \cdot 32}{22} - 1,7 = 2,37 < 2,5;$$

$$F_{d,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u dt}{\gamma_{M2}} = \frac{2,37 \cdot 0,53 \cdot 400 \cdot 10^{-1} \cdot 2 \cdot 0,62}{1,3} = 47,93 \text{ кН}.$$

Для дальнейших расчетов принимаем меньшее из предельных усилий  $F_{v,Rd}$ .

## 5.2 Монтажные стыки балок

### Пример 5.4. Монтажный стык составной балки на накладках на высокопрочных болтах

Запроектировать стык балки на высокопрочных болтах с накладками в середине пролета (фрикционное соединение категории С). Поперечное сечение балки представлено на рисунке 5.4. Балка из стали С345 по ГОСТ 27772-88. Максимальный расчетный изгибающий момент в рассматриваемом сечении  $M_{Ed} = 3875$  кНм, расчетное значение поперечной силы  $V_{Ed} = 0$ .

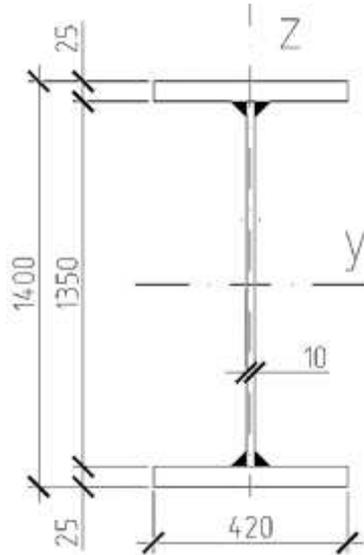


Рисунок 5.4 – Поперечное сечение балки

Для конструирования стыка принимаем высокопрочные болты М24 класса прочности 10.9. В соответствии с таблицей 4.10 под болты принимаем нормальные круглые отверстия, тогда диаметр отверстий  $d_0 = d + 2 = 26$  мм. По таблице 4.7 для поверхностей трения принимаем класс обработки А – поверхности, продуваемые дробью или песком, с удаленной сыпучей ржавчиной, без коррозионных язв, тогда  $\mu = 0,5$ . Расчетная несущая способность на сдвиг поверхностей трения, стянутых одним болтом, определяется по формуле 4.8а

$$F_{s.Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{P.C} = \frac{1,0 \cdot 2 \cdot 0,5}{1,25} \cdot 247 = 197,6 \text{ кН},$$

где  $\gamma_{M3} = 1,25$  – частный коэффициент (таблица 4.1);

$k_s = 1,0$  – коэффициент (таблица 4.6);

$F_{P.C} = 247$  кН – усилие предварительного напряжения (таблица 4.8);

$n = 2$  – количество поверхностей трения соединяемых элементов.

**Стык поясов.** Каждый пояс балки перекрываем тремя накладками:  $-420 \times 14$  и  $2 \cdot -180 \times 14$  мм общей площадью сечения

$$A_H = 1,4 \cdot (42 + 2 \cdot 18) = 109,2 \text{ см}^2 > A_f = b_f \cdot t_f = 42 \cdot 2,5 = 105 \text{ см}^2.$$

Момент инерции пояса балки  $I_f = I - I_w = 1197718,75 - 205031,25 = 992687,5 \text{ см}^4$ ,

где  $I_w = \frac{t_w \cdot h_w^3}{12} = \frac{1,0 \cdot 135^3}{12} = 205031,25 \text{ см}^4$ ;



Толщину плиты определяем методом итераций. По таблице Б.7 Приложения Б задаемся толщиной плиты  $t = 28 \text{ мм} > t_f = 20 \text{ мм}$ . Опорную плиту конструируем из стали С255 по ГОСТ 27772-88,  $f_y = 235 \text{ МПа}$  (таблица 1.3). Значение ширины свеса полки эквивалентного Т-образного сечения  $c$  определяем по п. 6.2.5 [27]

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{m0}}} = 28 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 16,67 \cdot 1,025}} = 59,95 \text{ мм.}$$

Определяем величину эффективной площади, ограниченной штриховой линией (рисунок 5.10)

$$A_{eff} = 2 \cdot (2 \cdot c + t_f) \cdot (b + 2 \cdot c) + (h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot c) \cdot (t_w + 2 \cdot c) =$$

$$= 2 \cdot (2 \cdot 5,996 + 2) \cdot (38 + 2 \cdot 5,996) + (30 - 2 \cdot 2,0 - 2 \cdot 5,996) \cdot (1 + 2 \cdot 5,996) = 1580,97 \text{ см}^2.$$

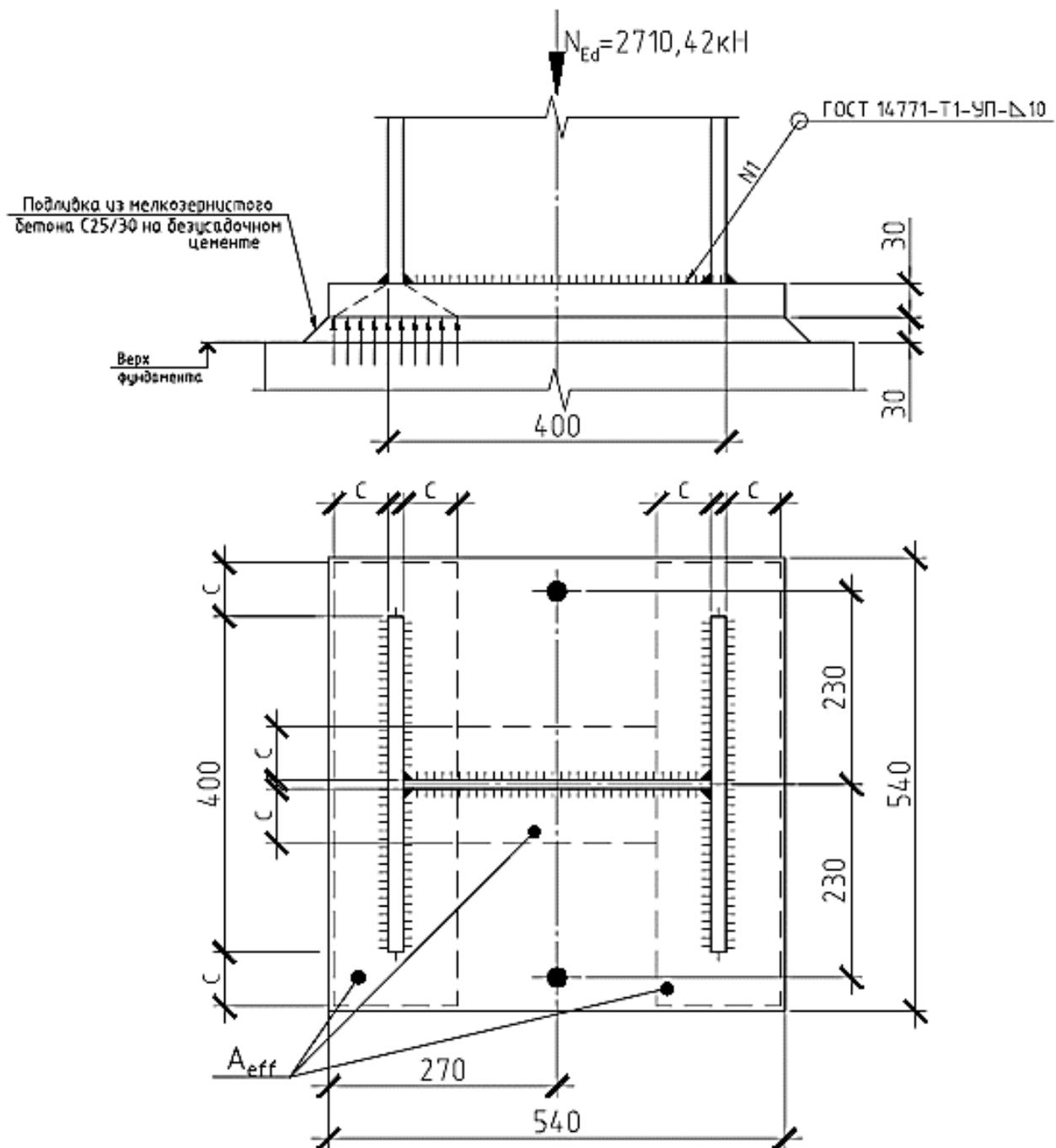


Рисунок 5.10 – К расчету базы центрально-сжатой сплошной колонны

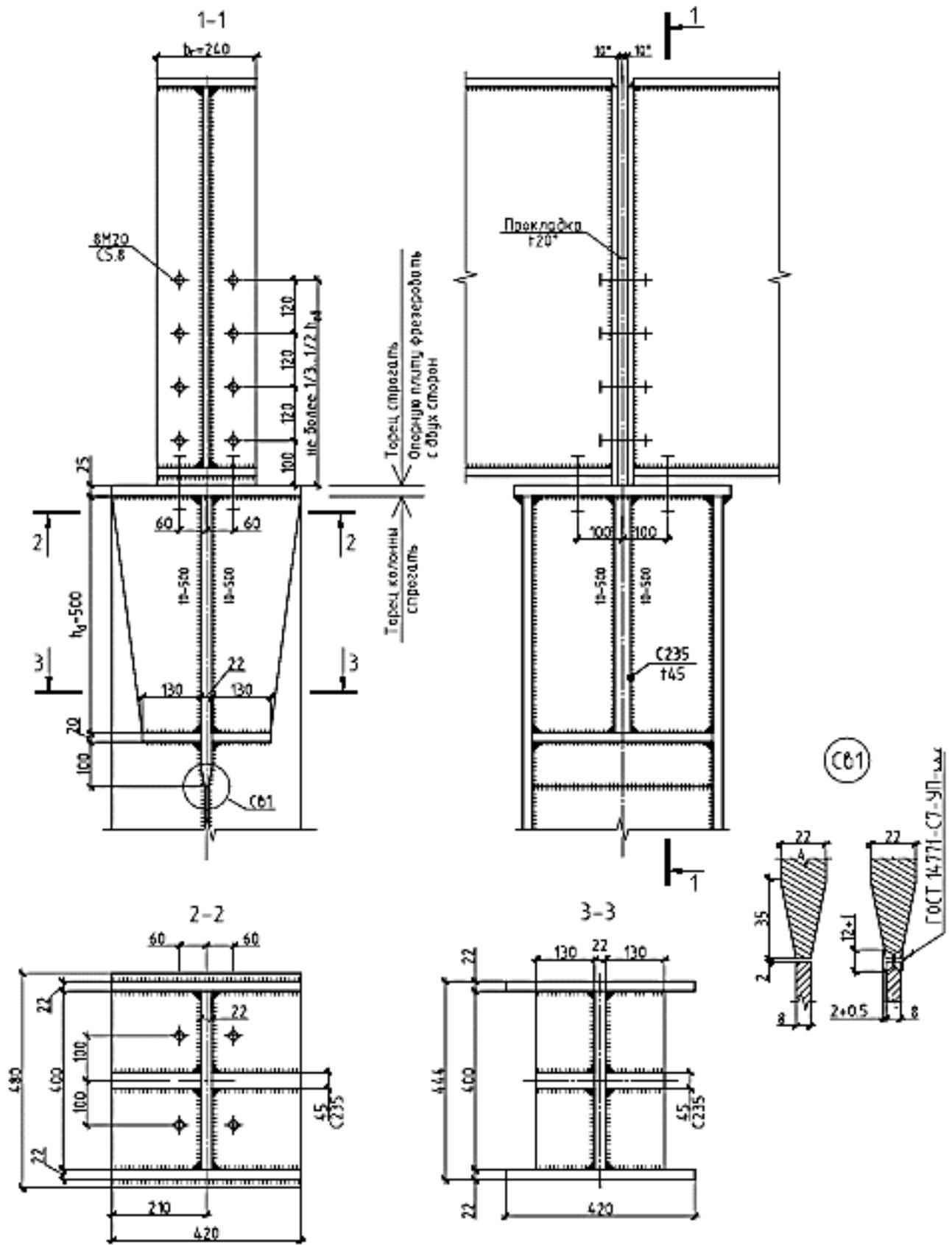


Рисунок 5.14 – Оголовок сплошной центрально-сжатой колонны

