

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Нижегородский государственный архитектурно-строительный  
университет» (ННГАСУ)**

Кафедра металлических конструкций

**ТЕОРИЯ, ЗАДАНИЯ И ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ  
УПРАЖНЕНИЙ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КУРСУ  
“МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ”**

ЧАСТЬ 1

**ВЫБОР СТАЛИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ,  
РАСЧЕТ СВАРНЫХ И БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

*Методические указания к выполнению упражнений  
практических занятий по курсу «Металлические конструкции» для  
студентов направления 290800.62 «Строительство»,  
профиль «Водоснабжение и водоотведение»*

Нижегород  
ННГАСУ  
2013

Министерство образования и науки Российской Федерации

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Нижегородский государственный архитектурно-строительный  
университет»**

Кафедра металлических конструкций

**ТЕОРИЯ, ЗАДАНИЯ И ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ  
УПРАЖНЕНИЙ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КУРСУ  
“МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ”**

ЧАСТЬ 1

**ВЫБОР СТАЛИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ,  
РАСЧЕТ СВАРНЫХ И БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

*Методические указания к выполнению упражнений  
практических занятий по курсу «Металлические конструкции» для  
студентов направления 290800.62 «Строительство»,  
профиль «Водоснабжение и водоотведение»*

Нижегород  
ННГАСУ  
2013

УДК 624.014

**Теория, задания и примеры выполнения упражнений практических занятий по курсу «Металлические конструкции».**

Часть 1. Выбор стали для строительных металлических конструкций, расчет сварных и болтовых соединений.

Методические указания к выполнению упражнений практических занятий по курсу «Металлические конструкции» для студентов направления 290800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

- Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. - 43 с.

В работе рассмотрены теории вопросов практических занятий: выбор стали для строительных металлоконструкций; расчет сварных соединений; расчет болтовых соединений. Приведены задания для выполнения упражнений практических занятий. Даны примеры выполнения заданий по принятому варианту с шифром 142.

Составитель: к.т.н. О.В. Колотов

Рецензент: зав. кафедрой металлических конструкций ННГАСУ, профессор А.И. Колесов

© Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2013

<b>СОДЕРЖАНИЕ</b>	<b>стр.</b>
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ВЫБОР СТАЛЕЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	5
2. РАСЧЕТ СВАРНЫХ ШВОВ.....	11
2.1. Расчет угловых сварных швов.....	11
2.2. Расчет стыковых сварных швов.....	20
3. РАСЧЕТ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	27
3.1. Расчет соединений на болтах обычной прочности.....	27
3.2. Расчет соединений на высокопрочных болтах.....	35
Список использованных источников.....	41
Приложение 1. Риски для размещения отверстий в уголках.....	42

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания «Теория, задания и примеры выполнения упражнений практических занятий по курсу «Металлические конструкции» предназначены для выполнения упражнений практических занятий по курсу «Металлические конструкции» для студентов направления 290800.62 «Строительство», профиль «Водоснабжение и водоотведение».

Методические указания составлены на основе принятых типов задач для практических занятий и рассчитаны на то, чтобы упорядочить и систематизировать выполнение упражнений.

Данные методические указания состоят из 3-х частей:

Часть 1. Выбор стали для строительных металлических конструкций, расчет сварных и болтовых соединений.

Часть 2. Расчет и конструирование балок.

Часть 3. Расчет и конструирование колонны. Расчет и конструирование резервуара водонапорной башни.

Часть 1 содержит теорию, задания и примеры выполнения упражнений по выбору стали для строительных металлических конструкций, по расчету соединений при помощи угловых и стыковых сварных швов и по расчету соединений при помощи болтов обычной прочности и высокопрочных болтов.

Все части методических указаний сопровождаются сквозным примером расчета, принятым по варианту задания с шифром «142».

# 1. ВЫБОР СТАЛИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

## Теория вопроса

Выбор стали для строительных металлических конструкций зависит от четырех факторов:

- 1) группы конструкций;
- 2) расчетной температуры;
- 3) требований по ударной вязкости;
- 4) требований по химическому составу.

### *1. Группы конструкций*

Все металлические конструкции разделены на четыре группы.

*К первой группе* относятся сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях, в том числе максимально стесняющие развитие пластических деформаций или подвергающиеся непосредственному воздействию динамических, вибрационных или подвижных нагрузок (подкрановые балки, балки рабочих площадок или элементов эстакад, непосредственно воспринимающих нагрузку от подвижных составов, фасонки ферм и т.д.).

*Ко второй группе* относятся сварные конструкции, воспринимающие статическую нагрузку, работающие преимущественно на растяжение (фермы, ригели рам, балки перекрытий и покрытий и другие растянутые, растянуто-изгибаемые и изгибаемые элементы), а также конструкции первой группы при отсутствии сварных соединений.

*К третьей группе* относятся сварные конструкции, воспринимающие статическую нагрузку, работающие преимущественно на сжатие (колонны, стойки, опоры под оборудование, вертикальные связи по колоннам с напряжением в связях свыше  $0,4R_y$  и другие сжатые и сжато-изгибаемые элементы), а также конструкции второй группы при отсутствии сварных соединений.

*В четвертую группу* включены вспомогательные конструкции зданий и сооружений (связи, кроме указанных в группе 3, элементы фахверка, лестницы, трапы, ограждения и т.п.), а также конструкции третьей группы при отсутствии сварных соединений.

## 2. Расчетная температура

За расчетную температуру в районе строительства следует принимать температуру наружного воздуха наиболее холодных суток обеспеченностью 0,98 определенную согласно СНиП 23-01. С точки зрения выбора стали для строительных металлических конструкций все климатические районы объединены в три группы:

- 1 группа – расчетная температура  $t \geq -45 \text{ }^\circ\text{C}$  ;
- 2 группа – расчетная температура  $-45 > t \geq -55 \text{ }^\circ\text{C}$  ;
- 3 группа – расчетная температура  $t < -55 \text{ }^\circ\text{C}$  ;

## 3. Требования по ударной вязкости

Ударная вязкость – это способность различных материалов поглощать энергию ударной нагрузки, что является одним из важнейших показателей прочности. Ударная вязкость стали определяется путем ударного изгиба образца, при этом оценивается работа до разрыва либо разрушения определенного образца при ударной нагрузке, которая и является показателем ударной вязкости. Ударная вязкость металлов зависит в первую очередь от температуры эксплуатации конструкции, а также от группы стальных конструкций и от предела текучести стали. Показатели ударной вязкости проката нормируются в таблице В.3 [2].

## 4. Требования по химическому составу

От химического состава стали зависят основные прочностные характеристики материала и ее свариваемость. В химическом составе стали нормируются процентное содержание углерода, фосфора, серы и углеродного эквивалента. В зависимости от вида стали содержание этих элементов в стали варьируется и нормируется в таблице В.4 [2].

### *Маркировка стали по ГОСТ 27772*

Фасонный прокат (прокатные уголки, швеллеры, двутавры и т.д.) изготавливают из стали С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375. Листовой, универсальный прокат и гнутые профили изготавливают из стали С235, С245, С255, С275, С285, С345, С345К, С375, С390, С390К, С440, С590, С590К. Буква “С” означает - сталь строительная, цифры условно обозначают предел текучести проката в МПа, буква “К” - вариант химического состава. Прокат из стали С345 и С375 изготавливают категорий 1,2,3,4 в зависимости от требований

по испытаниям на ударный изгиб (ударная вязкость). При этом в обозначении стали указывается ее категория, например С345-3 (категория 3). Каждая сталь по ГОСТ 27772 включает несколько марок стали, характеризующих ее химический состав.

Выбор стали для строительных металлических конструкций производится по таблице В.1, для конструкций из труб по таблице В.2[2].

### *Механические характеристики стали*

Основными механическими характеристиками стали являются:

$R_{yn}$  – предел текучести стали, принимаемый равным значению предела текучести  $\sigma_T$  по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;

$R_y$  - расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести;

$R_{un}$  – временноо сопротивление стали, принимаемое равным минимальному значению  $\sigma_B$  по государственным стандартам и техническим условиям на сталь;

$R_u$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;

$R_p$  – расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки);

$R_s$  – расчетное сопротивление стали сдвигу.

Значения механических характеристик зависят от толщины и вида проката (листовой, фасонный). С увеличением толщины проката механические характеристики стали несколько снижаются.

### **Задание**

Выбрать наиболее экономичные по стоимости стали и определить их основные прочностные характеристики для конструкций:

1. Подкрановые балки из фасонного проката
2. Фасонки ферм
3. Элементы ферм из фасонного проката
4. Балки перекрытий из листового проката
5. Колонны из листового проката
6. Прогонны покрытий из фасонного проката

## 7. Связи по покрытию из фасонного проката

Исходные данные для выполнения упражнения принимаются по табл. 1.1 в соответствии с трехзначным шрифтом, который выдается преподавателем. Упражнение выполняется в табличной форме (форму таблицы см. Пример выполнения упражнения).

Таблица 1.1

Таблица исходных данных для выполнения упражнения по §1

1-я цифра шифра	Район строительства	2-я цифра шифра	Толщина проката, мм
1	Архангельск	1	6
2	Иркутск	2	8
3	Владивосток	3	10
4	Киров	4	12
5	Сочи	5	14
6	Томск	6	16
7	Н. Новгород	7	20
8	Челябинск	8	25
9	Надым	9	30
0	Оймякон	0	40

### Пример

Исходные данные для варианта задания с шифром «142»:

1. Район строительства – г. Архангельск.
2. Толщина проката – 12мм.

Пример выполнения упражнения для задания с шифром «142» приведен для подкрановых балок из фасонного проката (поз. 1) и элементов ферм из фасонного проката (поз. 3) в табл. 1.2.

Столбцы №1, 2, 5 табл. 1.2 заполняются в соответствии с заданием.

Столбец №3 – расчетная температура в районе строительства заполняется на основании табл. 1 [1] в зависимости от района строительства.

Столбец №4 – группа конструкций – заполняется на основании требований приложения В[2].

Столбец №6 – сталь по ГОСТ 27772 – заполняется в соответствии с требованиями табл. В.1 [2], при этом в соответствии с заданием выбирается наиболее экономичная сталь (сталь с меньшим значением условного предела текучести, применение которой возможно).

В табл. В.1 [2] приняты следующие обозначения:

- знак «+» означает, что применение стали возможно;
- знак «-» означает, что применение стали невозможно;
- цифра указывает категорию стали, т.е. применение стали указанной категории возможно, при этом в обозначении стали указывается её категория, например, С345-3 (третья категория);
- знак «х» означает, что применение стали возможно при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Столбцы №7, 8, 9, 10 – механические характеристики стали определяются на основании табл. В.5 [2].

Столбец №11 – расчетное сопротивление стали сдвигу, вычисляется по формуле  $R_s = 0,58R_{yn}/\gamma_m = 0,58R_y$ .

Столбец №12 – расчетное сопротивление стали смятию торцевой поверхности (при наличии пригонки), определяется по табл. В.7 [2] по временному сопротивлению проката  $R_{un}$ .

Таблица 1.2

Пример выполнения упражнения для задания с шифром «142»

№ п/п	Вид конструкции	Расчетная температура в районе строительства	Группа конструкций	Толщина проката, мм	Сталь ГОСТ 27772	Механические характеристики, кН/см <sup>2</sup>					
						$R_{yn}$	$R_y$	$R_{un}$	$R_u$	$R_s$	$R_p$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Подкрановые балки из фасонного проката	-39°C	1	12	С345-3	32,5	32	47	46	18,6	45,9
2	Фасонки ферм										
3	Элементы ферм из фасонного проката	-39°C	2	12	С345-3	32,5	32	47	46	18,6	45,9
4	Балки перекрытий из листового проката										
5	Колонны из листового проката										
6	Прогонны перекрытий из фасонного проката										
7	Связи по покрытию из фасонного проката										

## 2. РАСЧЕТ СВАРНЫХ ШВОВ

Сварные швы классифицируют:

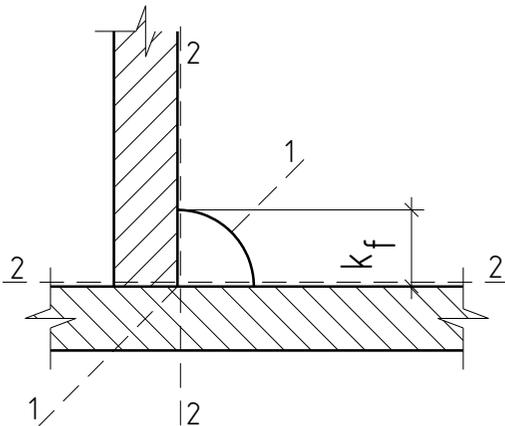
- 1) по конструктивному признаку;
- 2) по назначению (силовые и конструктивные);
- 3) по положению (нижние, вертикальные, потолочные, горизонтальные на вертикальной плоскости);
- 4) по протяженности (непрерывные и прерывистые; цепные и шахматные);
- 5) по направлению действия усилий (фланговые, лобовые, комбинированные и косые);
- 6) по внешней форме (вогнутые и выпуклые).

По конструктивному признаку швы делят на угловые (валиковые) и стыковые.

### 2.1. Расчет угловых сварных швов

#### Теория вопроса

Сварные угловые швы рассчитываются на срез по двум сечениям возможного разрушения (см. рис. 2.1)



Сечение 1-1 –сечение по металлу шва

Сечение 2-2 –сечение по металлу границы сплавления

Рис. 2.1. Схема расчетных сечений сварного соединения с угловым швом.

Если  $\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} \leq 1$ , то возможное разрушение по металлу шва (сечение 1-1). Тогда требуемая длина сварного шва по металлу шва определяется по формуле:

$$l_w = l_{w,r} + 1 \text{ см} = \frac{N \cdot \gamma_n}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см},$$

Если  $\frac{\beta_f \cdot R_{wf}}{\beta_z \cdot R_{wz}} > 1$ , то возможное разрушение по металлу границы сплавления. Требуемая длина сварного шва по металлу границы сплавления шва определяется по формуле:

$$l_w = l_{w,r} + 1 \text{ см} = \frac{N \cdot \gamma_n}{\beta_z \cdot k_f \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см},$$

где  $l_{w,r}$  – требуемая расчетная длина сварного шва;

$k_f$  – катет сварного шва см. рис. 2.1 (толщина шва), может, как правило, принимать значения  $k_f = 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 12; 14; 16; 18; 20$  мм т.д. и должен находиться в диапазоне  $k_{f,min} \leq k_f \leq k_{f,max}$ . Сварной шов при ручной сварке толщиной до 8 мм ( $k_f \leq 8$  мм) может быть выполнен за одну проходку;

$k_{f,min}$  – принимается по табл. 38 [2] в зависимости от вида соединения, сварки и толщины наиболее толстого из свариваемых элементов;

$k_{f,max} = 1,2 \cdot t_{min}$ , где  $t_{min}$  – минимальная толщина из свариваемых элементов;

$R_{wf}$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва, принимается по табл. Г.2[2] в зависимости от сварочного материала. Сварочный материал принимается по табл. Г.1 [2] в зависимости от вида материала свариваемых элементов и от вида сварки;

$R_{wz}$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу границы сплавления,  $R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un}$ ;

$R_{un}$  – временное сопротивление стали, табл. В.5 [2];

$\beta_f$  и  $\beta_z$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 39 [2] в зависимости от вида сварки и положения шва;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимается по табл. 1 [2];

$\gamma_n$  - коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания, принимается по п. 9.1 [3].

$l_{см}$  – увеличение длины сварного шва, учитывающее непровар. Принимается в соответствии с требованиями п.14.1.16 [2].

Окончательная длина сварного шва принимается по максимальной, полученной по двум формулам с округлением в большую сторону кратно 10мм, при этом расчетная длина сварного шва  $l_{w,r}$  должна находиться в диапазоне

$$l_{w,r,min} \leq l_{w,r} \leq l_{w,r,max}$$

где  $l_{w,r,min}$  – минимальная длина сварного шва,  $l_{w,r,min} = 4 \cdot k_f$  и не менее 40мм,

$l_{w,r,max}$  - максимальная длина сварного шва,  $l_{w,r,max} = 85 \cdot \beta_f \cdot k_f$ , за исключением швов, в которых усилие действует на всем протяжении шва (п.14.1.7 г [2]).

Расчетная длина сварного шва при необходимости корректируется, как правило, изменением величины катета шва.

Графическое обозначение сварных швов приведено на рис. 2.2.

 - заводской сварной шов

 - монтажный сварной шов

Рис. 2.2. Графическое изображение сварных швов.

### Задание

Выполнить расчет угловых сварных швов в соединении двух равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93 с фасонкой из условия равнопрочности соединения (см. рис. 2.3). Район строительства – г. Архангельск. Группа конструкций – 2. Сварка ручная. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n = 1,0$ ). Коэффициент условий работы принять ( $\gamma_c = 1,0$ ). Материалы для сварки принять в соответствии с требованиями табл. Г.1 [2].

Недостающие исходные данные для выполнения упражнения принять по табл. 2.1 в соответствии с трехзначным шифром, который выдается преподавателем.

По результатам расчета выполняется чертеж с указанием требуемых длин сварных швов.

Порядок выполнения упражнения см. пример расчета.

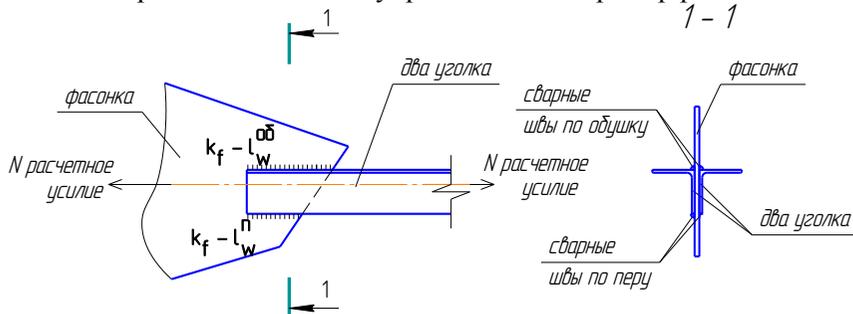


Рис. 2.3. Соединение двух уголков с фасонкой

Таблица 2.1

Таблица исходных данных для выполнения упражнения по §2.1

1-я цифра шифра	Сечение равнополочных уголков по ГОСТ 8509	2-я цифра шифра	Толщина фасонки $t_f$ , мм ГОСТ 19903	3-я цифра шифра	Материал соединяемых элементов сталь ГОСТ 27772
1	2L 90×6	1	8	1	С 245
2	2L 90×7	2	10	2	С 345-3
3	2L 100×7	3	12	3	С 245

4	2L100×8	4	14	4	С 345-3
5	2L100×10	5	16	5	С 245
6	2L110×8	6	8	6	С 345-3
7	2L125×8	7	10	7	С 245
8	2L125×9	8	12	8	С 345-3
9	2L125×10	9	14	9	С 245
0	2L125×12	0	16	0	С 345-3

### **Пример**

Исходные данные для варианта задания с шифром «142»:

1. Район строительства – г. Архангельск.
2. Группа конструкций – 2.
3. Сварка ручная.
4. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n = 1,0$ ).
5. Коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1,0$ .
6. Сечение равнополочных уголков – 2 L90×6 по ГОСТ 8509.

Толщина фанки  $t_{\phi} = 14$  мм по ГОСТ 19903.

Материал соединяемых элементов сталь – С345-3 по ГОСТ 27772, для климатической зоны  $-45\text{ }^{\circ}\text{C} > t \geq -55\text{ }^{\circ}\text{C}$

Пример выполнения упражнения для задания с шифром «142».

1. Сварные швы в соответствии с заданием выполняются ручной электродуговой сваркой электродами типа Э50 по ГОСТ 9467 в соответствии с требованиями табл. Г.1 [2].

Свариваемые элементы имеют толщину: уголок - 6 мм, фансонка - 14 мм.

2. Предельное усилие, которое может быть воспринято двумя уголками на растяжение (условие равнопрочности соединения) определяется по формуле

$$N = A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c = 21,2 \cdot 32 \cdot 1 = 678,4 \text{ кН},$$

где  $R_y$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, принимается по таблице В.5[2], кН/см<sup>2</sup>;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимается в соответствии с заданием  $\gamma_c = 1$ ;

$A_n$  – площадь сечения двух уголков ( $A_n = k \cdot A_{уг} = 2 \cdot 10,6 = 21,2 \text{ см}^2$ );

$A_{уг}$  – площадь одного уголка принимается по сортаменту;

$k$  – количество уголков.

3. Определяется усилие, приходящееся на 1 сварной шов по обушку и по перу уголков (70% усилия воспринимается сварным швом по обушку и 30% усилия воспринимается сварным швом по перу в равнополочных уголках).

Расчетное усилие, приходящееся на 1 сварной шов по обушку, определяется по формуле:

$$N_w^{об} = \frac{0,7N}{n_w} = \frac{0,7 \cdot 678,4}{2} = 237,4 \text{ кН}$$

Расчетное усилие, приходящееся на 1 сварной шов по перу, определяется по формуле:

$$N_w^n = \frac{0,3N}{n_w} = \frac{0,3 \cdot 678,4}{2} = 101,8 \text{ кН}$$

где  $n_w = 2$  – число сварных швов по обушку и по перу.

4. Определяется требуемая длина сварного шва по обушку. Расчет производится по двум сечениям возможного разрушения.

- по металлу шва

$$l_w^{06} = l_{w,r}^{06} + 1 \text{ см} = \frac{N_w^{06} \cdot \gamma_n}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} =$$

$$= \frac{237,4 \cdot 1,0}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 21,5 \cdot 1,0} + 1 = 26,3 + 1 = 27,3 \text{ см}$$

- по металлу границы сплавления

$$l_w^{06} = l_{w,r}^{06} + 1 \text{ см} = \frac{N_w^{06} \cdot \gamma_n}{\beta_z \cdot k_f \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} =$$

$$= \frac{237,4 \cdot 1,0}{1,0 \cdot 0,6 \cdot 21,15 \cdot 1,0} + 1 = 18,7 + 1 = 19,7 \text{ см}$$

где  $l_{w,r}^{06}$  – требуемая расчетная длина сварного шва по обушке;

$k_f = 0,6 \text{ см}$  – катет сварного шва, принимается в диапазоне

$k_{f,min} \leq k_f \leq k_{f,max}$ ;

$k_{f,min} = 0,6 \text{ см}$  – принимается по табл. 38 [2];

$k_{f,max} = 1,2 \cdot t_{min} = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ см}$ , где  $t_{min}$  – минимальная толщина из свариваемых элементов;

$R_{wf} = 21,5 \text{ кН/см}^2$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу шва, принимается по табл. Г.2[2].

$R_{wz}$  – расчетное сопротивление угловых швов срезу по металлу границы сплавления,  $R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un} = 0,45 \cdot 47 = 21,15 \text{ кН/см}^2$ ;

$R_{un} = 47 \text{ кН/см}^2$  – временное сопротивление стали разрыву, табл. В.5[2] принимается по минимальному значению для одного из свариваемых элементов;

$\beta_f = 0,7$  и  $\beta_z = 1$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 39[2] в зависимости от вида сварки и положения шва;

$\gamma_c = 1$  – коэффициент условий работы, принимается по заданию;

$\gamma_n = 1$  – коэффициент надежности по ответственности, принимается по заданию;

1 см – увеличение длины сварного шва, учитывающее непровар торцов шва.

Окончательная длина сварного шва принимается  $l_w^{06} = 28 \text{ см}$ , при этом расчетная длина сварного шва  $l_w^{06} = 26,3 \text{ см}$  больше  $l_{w,r,min} =$

$4 \cdot k_f = 4 \cdot 0,6 = 2,4$  см и не менее 4см, т.е.  $l_{w,r,min} = 4$ см меньше  
 $l_{w,r,max} = 85 \cdot \beta_f \cdot k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 35,7$  см.

5. Определяется требуемая длина сварного шва по перу. Расчет производится по двум сечениям возможного разрушения.

- по металлу шва

$$l_w^n = l_{w,r}^n + 1 \text{ см} = \frac{N_w^n \cdot \gamma_n}{\beta_f \cdot k_f \cdot R_{wf} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} =$$

$$= \frac{101,8 \cdot 1,0}{0,7 \cdot 0,6 \cdot 21,5 \cdot 1,0} + 1 = 11,3 + 1 = 12,3 \text{ см}$$

- по металлу границы сплавления

$$l_w^n = l_{w,r}^n + 1 \text{ см} = \frac{N_w^n \cdot \gamma_n}{\beta_z \cdot k_f \cdot R_{wz} \cdot \gamma_c} + 1 \text{ см} =$$

$$= \frac{101,8 \cdot 1,0}{1 \cdot 0,6 \cdot 21,15 \cdot 1,0} + 1 = 8,03 + 1 = 9,03 \text{ см}$$

где  $l_{w,r}^n$  – требуемая расчетная длина сварного шва по перу;

$$k_f = 0,6 \text{ см}$$

$k_{f,min} = 0,6$  см принимается по табл. 38 [2];

$$k_{f,max} = 1,2 \cdot t_{min} = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ см}$$

$$R_{wf} = 21,5 \text{ кН/см}^2$$

$$R_{wz} = 0,45 \cdot R_{un} = 0,45 \cdot 47 = 21,15 \text{ кН/см}^2$$

$$R_{un} = 47 \text{ кН/см}^2$$

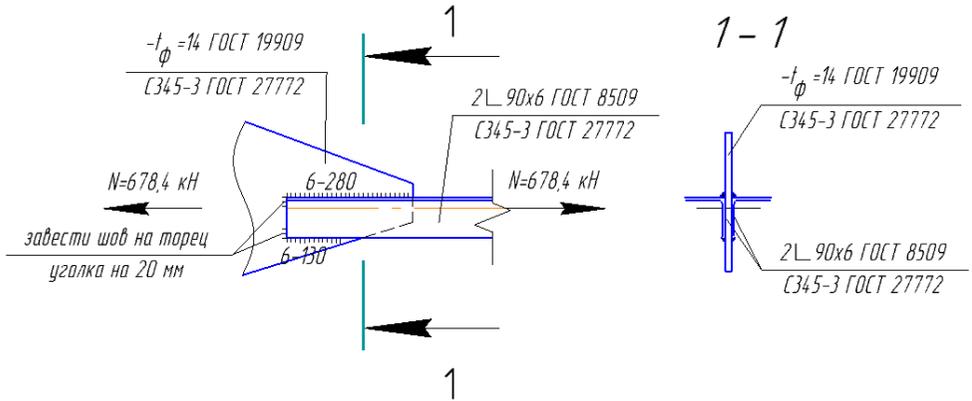
$$\beta_f = 0,7 \text{ и } \beta_z = 1$$

$$\gamma_c = 1$$

$$\gamma_n = 1$$

Окончательная длина сварного шва принимается  $l_w^n = 13$  см, при этом расчетная длина сварного шва  $l_{w,r}^n = 11,3$  см больше  $l_{w,r,min} = 4 \cdot k_f = 4 \cdot 0,6 = 2,4$  см и не менее 4см, т.е.  $l_{w,r,min} = 4$ см меньше  $l_{w,r,max} = 85 \cdot \beta_f \cdot k_f = 85 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 35,7$  см.

По результатам расчета выполнен чертеж (см. рис. 2.4)



Примечание: Сварка ручная электродами Э50 по ГОСТ 9467

Рис. 2.4. Равнопрочное соединение двух уголков с фасонкой по заданию с шифром «142»

## 2.2. Расчет стыковых сварных швов

### Теория вопроса

Стыковые швы выполняются по ГОСТ 5264-80. Они рациональнее угловых, т.к. вызывают меньшую концентрацию напряжений.

Если элементы имеют толщину  $t > 8\text{ мм}$ , то требуется разделка кромок, обеспечивающая полное проплавление металла.

Различают V, U, X и K – образные формы разделки кромок см. рис. 2.5

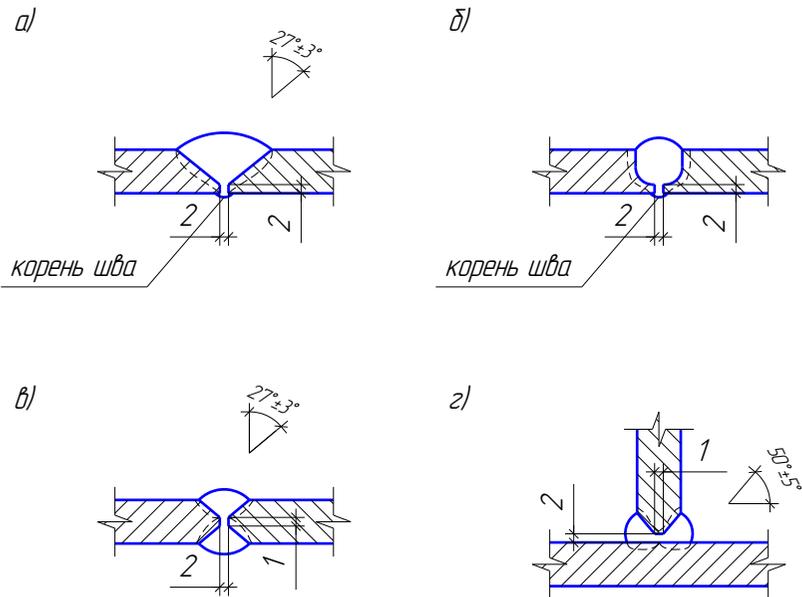


Рис. 2.5. Разделка кромок

а) V-образная разделка; б) U-образная разделка; в) X-образная разделка; г) K-образная разделка

У V-образной и U-образной разделок кромок обязательна подварка корня шва.

Физические методы контроля сварных швов – это ультразвуковая дефектоскопия и иу -дефектоскопия.

Прочность стыковых швов зависит от прочности основного металла. Если материал для сварки принимается в соответствии с требованиями табл. Г.1 [2], тогда сварной шов будет равнопрочным основному металлу.

Элементы, соединяемые стыковыми сварными швами, как правило, свариваются с устройством выводных планок (см. рис.2.6). Выводные планки имеют ту же толщину и такую же разделку кромок, как и соединяемые элементы. Они привариваются предварительно к краям соединяемых элементов в зоне выполнения стыкового сварного шва. Затем выполняется стыковой шов с заходом на выводные планки. После этого планки срезаются.

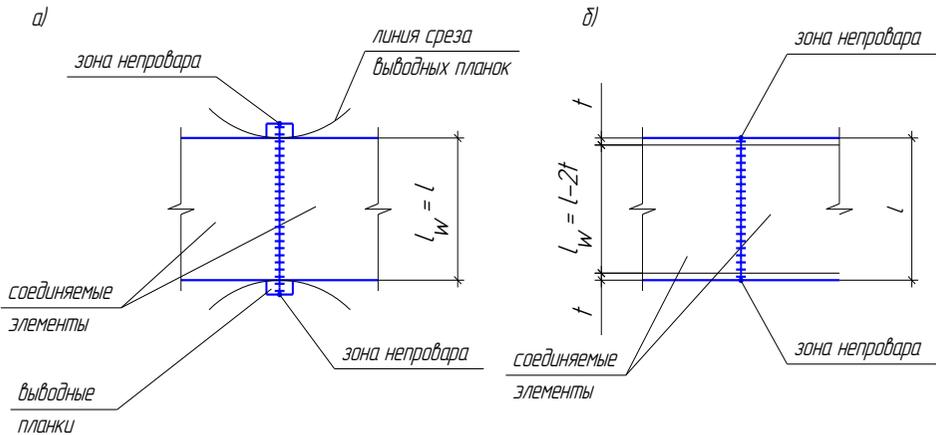


Рис. 2.6. Стыковые сварные швы

- а) при наличии выводных планок  
 б) при отсутствии выводных планок

При действии осевой силы  $N$  на стыковой сварной шов, проходящей через центр тяжести соединения (см. рис.2.7а), расчет производится по формуле:

$$\frac{\sigma_w^N}{R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{N \cdot \gamma_n}{t \cdot l_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} \leq 1,$$

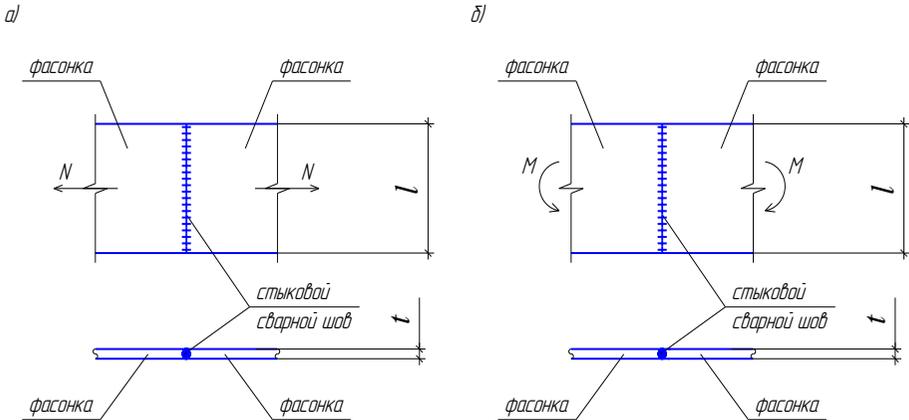


Рис. 2.7. Схемы соединений, образованных стыковыми сварными швами:

- а) при действии центральной силы  $N$ ;  
 б) при действии изгибающего момента  $M$

где  $t$  – наименьшая из толщин соединяемых элементов;

$l_w$  – расчетная длина сварного стыкового шва (см. рис 2.6);

$l_w = l$  – при наличии выводных планок;

$l_w = l - 2t$  – при отсутствии выводных планок;

$l$  – длина соединяемых элементов;

$\gamma_n$  – коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания;

$R_{wy}$  – расчетное сопротивление стыкового сварного шва;

$R_{wy} = R_y$  – при сжатии, а так же при растяжении при наличии физических методов контроля сварных швов;

$R_{wy} = 0,85R_y$  – при растяжении при отсутствии физических методов контроля сварных швов;

$R_{wy} = R_s$  – при сдвиге;

При действии изгибающего момента  $M$  (см. рис. 2.6б) на стыковой шов расчет на прочность производится по формуле:

$$\frac{\sigma_w^M}{R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{M \cdot \gamma_n}{W_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} \leq 1,$$

где  $W_w$  – моментсопротивления стыкового сварного шва

$$W_w = \frac{t \cdot l_w^2}{6},$$

В случае действия на соединение одновременно центральной силы  $N$  и изгибающего момента  $M$  расчет на прочность стыковых сварных швов производится по формуле:

$$\frac{\sigma_w^N}{R_{wy} \cdot \gamma_c} + \frac{\sigma_w^M}{R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{N}{A_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} + \frac{M \cdot y}{I_{wx} \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} \leq 1,$$

### Задание

Выполнить расчет прочности стыкового сварного шва в соединении двух листов кромками (см. рис. 2.8) на воздействие расчетных усилий  $N$  и  $M$  ( $N$  – растяжение).

Район строительства – г. Архангельск. Группа конструкций – 2. Сварка ручная, без физического контроля качества шва. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n = 1,0$ ). Коэффициент условия работы принять  $\gamma_c = 1,0$ . Материал для сварки принять в соответствии с требованиями табл. Г.1 [2].

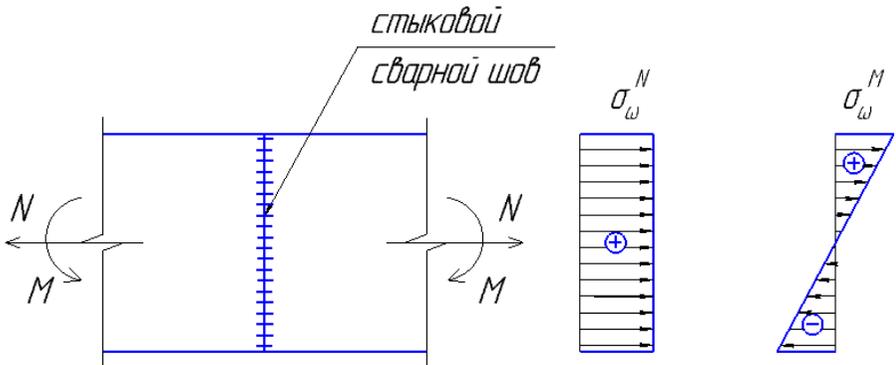


Рис.2.8. Соединение двух листов кромками

Недостающие исходные данные для выполнения упражнения принять по табл. 2.1 в соответствии с трехзначным шифром, который выдается преподавателем.

Таблица 2.2

Таблица исходных данных для выполнения упражнения по § 2.2

1-я цифра шифра	Расчетные усилия в стыковом сварном шве		2-я цифра шифра	Размеры соединяемых стальных листов		3-я цифра шифра	Материал, соедин-х эл-тов ГОСТ 27772	Наличие выводных планок
	$N$ , кН	$M$ , кН·м		$l$ , мм	$t$ , мм			
1	1900	300	1	600	30	1	С 245	есть
2	2000	290	2	700	30	2	С 345-3	есть
3	2100	280	3	800	30	3	С 245	нет
4	2200	270	4	900	25	4	С 345-3	нет
5	2300	260	5	1000	20	5	С 245	есть
6	2400	250	6	1100	18	6	С 345-3	есть
7	2500	240	7	1200	16	7	С 245	нет
8	2600	230	8	1300	14	8	С 345-3	нет
9	2700	220	9	1400	12	9	С 245	есть
10	2800	210	10	1500	10	10	С 345-3	есть
0	2900	200	0	1600	8	0	С 245	нет

### Пример

Исходные данные для варианта задания с шифром «142»:

1. Район строительства – г. Архангельск.
2. Группа конструкций – 2.
3. Сварка ручная, без физического контроля качества шва.
4. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n = 1,0$ ).
5. Коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1,0$ .
6. Расчетные усилия в стыковом сварном шве при растяжении силой  $N=1900\text{кН}$ ,  $M=300\text{кН}\cdot\text{м}$
7. Размеры соединяемых стальных листов  $l=900\text{мм}$ ,  $t=25\text{мм}$ .
8. Материал соединяемых элементов сталь – С345-3 по ГОСТ 27772,  $R_y = 30 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ .

Стыковой шов выполнить с устройством выводных планок.

Пример выполнения упражнения для задания с шифром «142».

1. Сварной стыковой шов в соответствии с заданием выполняются ручной электродуговой сваркой электродами типа Э50 по ГОСТ 9467 в соответствии с требованиями табл. Г.1 [2].

2. Расчет на прочность стыковых сварных швов от действия нормальной силы  $N$  производится по формуле:

$$\frac{\sigma_w^N}{R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{N \cdot \gamma_n}{t \cdot l_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{1900 \cdot 1,0}{2,5 \cdot 90 \cdot 25,5 \cdot 1,0} = 0,33 < 1,0,$$

где  $N = 1900 \text{ кН}$  – расчётное нормальное усилие в стыковом сварном шве;

$\gamma_n$  – коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания. Для 2-ого уровня ответственности,  $\gamma_n = 1,0$ ;

$t$  – толщина соединяемых стальных листов,  $t = 2,5 \text{ см}$ ;

$l_w$  – расчетная длина сварного стыкового шва,  $l_w = l = 90 \text{ см}$  – при наличии выводных планок;

$R_{wy} = 0,85 \cdot R_y = 0,85 \cdot 30 = 25,5 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$  – при наличии физического контроля сварного шва.

3. Расчет на прочность стыковых сварных швов от действия изгибающего момента  $M$  определяется по формуле:

$$\frac{\sigma_w^M}{R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{M \cdot \gamma_n}{W_w \cdot R_{wy} \cdot \gamma_c} = \frac{30000 \cdot 1,0}{3375 \cdot 25,5 \cdot 1,0} = 0,35 < 1,0,$$

где  $M = 30000 \text{ кН} \cdot \text{см}$  – расчётный изгибающий момент в стыковом сварном шве;

$$\gamma_n = 1,0;$$

$W_w$  – момент сопротивления стыкового сварного шва

$$W_w = \frac{t \cdot l_w^2}{6} = \frac{2,5 \cdot 90^2}{6} = 3375 \text{ см}^3,$$

4. Расчет на прочность стыковых сварных швов от нормальной силы  $N$  и изгибающего момента  $M$  при обеспечении упругой работы материала производится по формуле:

$$\frac{\sigma_w^N}{R_{wy} \cdot \gamma_c} + \frac{\sigma_w^M}{R_{wy} \cdot \gamma_c} = 0,33 + 0,35 = 0,68 < 1,0,$$

Прочность сварного стыкового шва обеспечена.

### 3. РАСЧЕТ БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Болтовые соединения более металлоёмки, чем сварные, т.к. требуют накладки и имеют ослабление сечений отверстиями. Болт имеет головку, гладкую часть стержня длиной на 2-3мм меньше толщины соединяемых элементов пакета и нарезную часть стержня. В болтовое соединение, кроме болта, входят шайбы и гайки.

#### 3.1 Расчет соединений на болтах обычной прочности

##### Теория вопроса

##### *1. Общие сведения*

Болты обычной прочности для металлических конструкций рекомендованные [2] разделяются на классы по точности «А», «В» («А» - болтыповышенной точности, «В» - нормальной точности). Болты класса точности «А» выпускаются по ГОСТ 7805-70, болты класса точности В выпускаются по ГОСТ 7798-70\*. Они различаются допусками и отклонениями диаметра болта от номинала.

Диаметр отверстия для болтов класса точности«В» на 2-3мм больше диаметра болта. Для болтов класса точности«А»выполняются отверстия, которые сверлятся на проектный диаметр в собранных элементах. При этом диаметр отверстия под болт выполняется больше диаметра стержня болта на 0,25 - 0,3 мм.

Различают классы прочности болтов 5.6, 5.8, 8.8, 10.9, 12.9. Класс прочности болтов обозначен числами. Первое число, умноженное на 10, обозначает временное сопротивление материала болта ( $\sigma_6, кгс/мм^2$ ), а произведение первого числа на второе – предел текучести материала болта ( $\sigma_{ym}, кгс/мм^2$ ).

Как правило, для соединения несущих металлических конструкций применяют болты М16, М20, М24, М30, М36, М42, М48. Наиболее распространённые болты к применению М16, М20, М24. В маркировке болта М – резьба метрическая, число – обозначает наружный диаметр стержня болта в мм.

Расчёт болтов обычной прочности ведут из возможного вида разрушения соединения по срезу болта при толстых соединяемых листах или по смятию поверхности отверстия при тонких листах.

## 2. Определение количества требуемых болтов в соединении

Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом определяется по формулам:

- из условия среза:

$$N_{bs} = R_{bs} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c,$$

- из условия смятия:

$$N_{bp} = R_{bp} \cdot d_b \cdot \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c,$$

где  $R_{bs}$  – расчетное сопротивление срезу одноболтового соединения, определяется по табл. Г.5 [2];

$R_{bp}$  – расчетное сопротивление смятию одноболтового соединения, определяется по табл. Г.6 [2] в зависимости от  $R_{un}$ ;

$d_b$  – наружный диаметр стержня болта;

$A_b$  – площадь сечения стержня болта брутто, принимается согласно табл. Г.9 [2];

$n_s$  – число расчетных срезов одного болта;

$\sum t$  – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, определяется по табл. 1 [2];

$\gamma_b$  – коэффициент условий работы болтового соединения, принимается по табл. 41 [2] и принимается не более 1,0.

При действии на болтовое соединение силы  $N$ , проходящей через центр тяжести соединения, распределение этой силы между болтами следует принимать равномерным. В этом случае количество болтов в соединении определяется по формуле:

$$n \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{N_{b,min}}$$

где  $N$  – расчетное усилие в соединении;

$N_{b,min}$  – наименьшее из значений расчетного усилия для одного болта, определенных из условий среза  $N_{bs}$  и смятия  $N_{bp}$ ;

$\gamma_n$  – коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания.

Количество болтов в соединении принимается по расчёту, но не менее двух, исходя из удобства монтажа.

### 3. Размещение болтов

Размещение болтов производится в соответствии стабл. 40 [2], которая содержит следующие основные требования:

а) расстояние от центра болта до края элемента вдоль усилия: минимальное  $-2d_0$ , при  $R_{yn} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$ , максимальное  $4d_0$  или  $8t$ ;

б) расстояние между центрами болтов: минимальное  $-2,5d_0$ , при  $R_{yn} \leq 375 \text{ Н/мм}^2$ , максимальное  $8d_0$  или  $12t$ ;

в) расстояние от центра болта до края элемента поперек усилия: минимальное  $-1,5d_0$ , максимальное  $4d_0$  или  $8t$ ;

где  $t$  – толщина наиболее тонкого наружного элемента;

$d_0$  – диаметр отверстия для болта.

Расстояния между болтами и от центра болта до края элементов принимаются кратно 5 мм.

### 4. Условные обозначения болтов

Условные обозначения болтов классов точности «А» и «В» приведены на рисунке 3.1

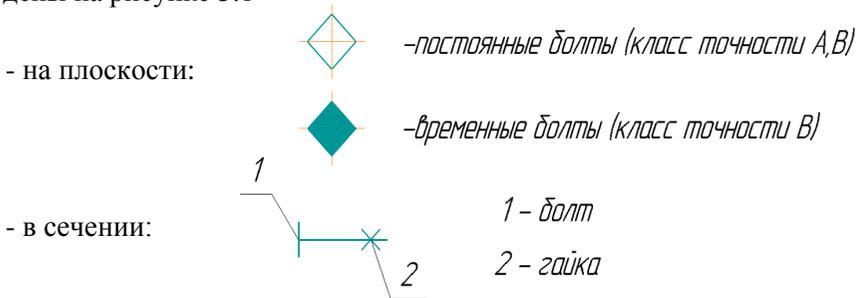


Рис.3.1. Условные обозначения болтов обычной прочности

### Задание

Выполнить расчет болтов нормальной точности в соединении двух равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93 с фасонкой по ГОСТ 19903-74\* из условия равнопрочности соединения (см. рис. 3.2). Район строительства – г. Архангельск. Группа конструкций – 2. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n = 1,0$ ). Коэффициент условий работы принять  $\gamma_c = 1,0$ . Сечение уголков, толщину фасонки и материал соединяемых элементов принять по таблице 2.1 в соответствии с трехзначным шифром, который выдается преподавателем.

Класс прочности болтов принять по таблице 3.1 в соответствии с первой цифрой шифра.

По результатам расчета выполняется чертеж.

Порядок выполнения упражнения см. пример расчета.

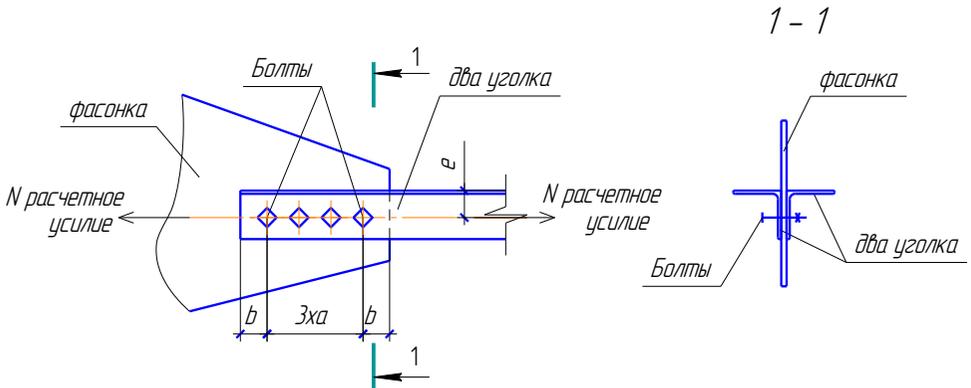


Рис. 3.2. Соединение двух уголков с фасонкой на болтах обычной прочности

Таблица 3.1

Таблица исходных данных для выполнения упражнения по §3.1

1-я цифра шифра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Класс прочности болтов	5,6	5,8	8,8	10,9	12,9	5,6	5,8	8,8	10,9	12,9

### Пример

Исходные данные для варианта задания с шифром «142»:

1. Район строительства – г. Архангельск.
2. Группа конструкций – 2.
3. Болты класса точности В по ГОСТ 7798-70\*, класса прочности 5.6.
4. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n=1,0$ ).
5. Коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1,0$ .
6. Сечение равнополочных уголков – 2 L90×6 по ГОСТ 8509-93.
7. Толщина фасонки  $t_f = 14$  мм. ГОСТ 19903-74\*.
8. Материал соединяемых элементов сталь – С345-3 по ГОСТ 27772-88,  $R_y = 320 \text{ МПа} = 32 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ .

Пример выполнения упражнения для задания с шифром «142».

1. Назначается диаметр болтов. Болты принимаются, как правило, максимально возможного диаметра по максимальному диаметру отверстий в уголках. При этом количество болтов в соединении будет минимально. Максимально возможный диаметр болтов определяется по формуле:

$$d_b = d_{0,max} - \delta = 23 - 3 = 20 \text{ мм},$$

где  $d_{0,max}$  – максимально возможный диаметр отверстия в уголках L90×6, принимается по таблице «Риски для размещения отверстий в уголках» по справочникам проектировщика, а также см. Приложение 2.

$\delta$  – разница между диаметром болта и диаметром отверстия  $\delta = 3$  мм – для болтов класса точности «В».

Принимаем болты М20 по ГОСТ 7798-70\*.

2. Определяется предельное усилие, которое может быть воспринято двумя уголками на растяжение из условия равнопрочности соединения по формуле:

$$N = A_n \cdot R_y \cdot \gamma_c = 18,44 \cdot 32 \cdot 1,0 = 590,08 \text{ кН},$$

где  $A_n$  – площадь сечения двух уголков нетто (с учетом ослабления отверстиями)  $A_n = A - A_0 = 21,2 - 2,76 = 18,44 \text{ см}^2$ ;

где  $A$  – площадь сечения двух уголков ( $A = k \cdot A_{\text{уг}} = 2 \cdot 10,6 = 21,2 \text{ см}^2$ );

$k$  – количество уголков;

$A_{\text{уг}}$  – площадь одного уголка, принимается по сортаменту;

$A_0$  – площадь отверстий в одном сечении уголков;

( $A_0 = k \cdot A_{0,\text{уг}} = 2 \cdot 1,38 = 2,76 \text{ см}^2$ );

$A_{0,\text{уг}}$  – площадь отверстий в одном уголке ( $A_{0,\text{уг}} = d_0 \cdot t_{\text{уг}} = 2,3 \cdot 0,6 = 1,38 \text{ см}^2$ );

$d_0$  – диаметр отверстия в уголках ( $d_0 = d_b + \delta = 20 + 3 = 23 \text{ мм}$ );

$t_{\text{уг}}$  – толщина полки уголка;

$R_{y,32 \text{ кН/см}^2}$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, принимается по таблице В.1 [2],  $\text{кН/см}^2$ .

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимается в соответствии с заданием  $\gamma_c = 1,0$ .

3. Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом из условия среза определяется по формуле:

$$N_{b_s} = R_{b_s} \cdot A_b \cdot n_s \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 21 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 118,7 \text{ кН},$$

где  $R_{b_s}$  – расчетное сопротивление срезу одноболтового соединения, определяется по табл. Г.5 [2]  $R_{b_s} = 21 \text{ кН/см}^2$ ;

$A_b$  – расчетная площадь сечения стержня болта, определяется по табл. Г.9 [2]  $A_b = 3,14 \text{ см}^2$ ;

$n_s$  – число расчетных срезов одного болта  $n_s = 2$ ;

$\gamma_b$  – коэффициент условий работы болтового соединения, принимается по табл. 41 [2] и принимается не более 1,  $\gamma_b = 1 \cdot 0,9 = 0,9$ .

4. Расчетное усилие, которое может быть воспринято одним болтом из условия смятия отверстия определяется по формуле:

$$N_{b_p} = R_{b_p} \cdot d_b \sum t \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c = 62 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 133,92 \text{ кН},$$

где  $R_{b_p}$  – расчетное сопротивление смятию одноболтового соединения, определяется по табл. Г.6 [2] в зависимости от  $R_{un} = 47 \text{ кН/см}^2$  (см. табл. В.5 [2]),  $R_{b_p} = 62 \text{ кН/см}^2$ ;

$d_b$  – наружный диаметр стержня болта  $d_b = 2,0$  см;

$\sum t$  – наименьшая суммарная толщина соединяемых элементов, сминаемых в одном направлении. В одном направлении сминается фасонка и  $\sum t = \sum t_\phi = 1,4$  см. В другом направлении сминаются два уголка  $\sum t = \sum t_{ур} = 2 \cdot 0,6 = 1,2$  см. Следовательно, смятие может произойти по уголкам и  $\sum t = 1,2$  см (поэтому  $R_{un} = 47$  кН/см<sup>2</sup> принято для уголков);

$\gamma_b$  – коэффициент условий работы болтового соединения, принимается по табл. 41 [2] и принимается не более 1.  $R_{yn} = 32,5$  кН/см<sup>2</sup>,  $\frac{a}{d_0} = \frac{46}{23} = 2$ , следовательно,  $\gamma_b = 0,9 \cdot 0,5 \cdot \frac{a}{d_0} = 0,9 \cdot 0,5 \cdot 2 = 0,9$ ;

где  $a$  – расстояние вдоль усилия от края элемента до центра ближайшего отверстия, принимается по табл. 40 [2].

5. Требуемое количество болтов в соединении определяется по формуле:

$$n \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{N_{b,min}} = \frac{590,08 \cdot 1,0}{118,7} = 4,97,$$

где  $N$  – расчетное усилие в соединении  $N = 590,08$  кН;

$N_{b,min}$  – наименьшее из значений расчетного усилия для одного болта, определенных из условий среза  $N_{bs} = 118,7$  кН и смятия  $N_{bp} = 133,92$  кН;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимается по заданию  $\gamma_c = 1,0$ ;

$\gamma_n$  – коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания;

Принимаем пять болтов М205.6 по ГОСТ 7798-70\*.

6. Размещение болтов производится в соответствии с табл. 40 [2] как для расчётного соединения на минимально возможных расстояниях, что позволяет обеспечить наибольшую компактность узла.

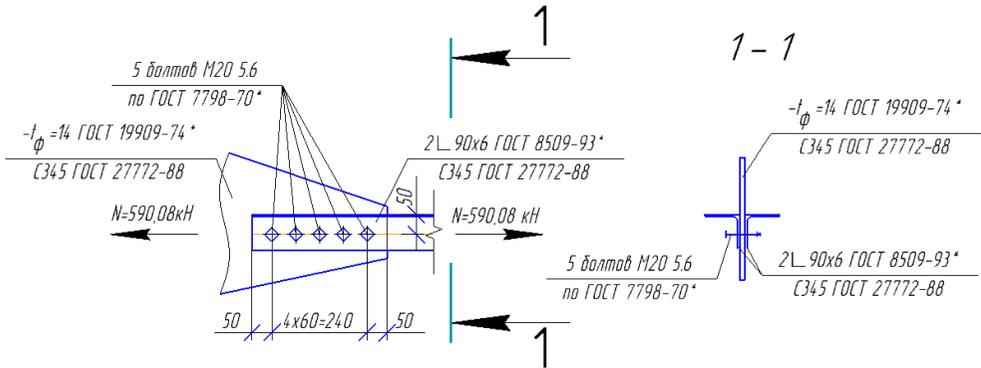
а) расстояние от центра болта до края элемента вдоль усилия: минимальное  $b_{min} = 2d_0 = 2 \cdot 23 = 46$  мм, принимается  $b = 50$  мм.

б) расстояние между центрами болтов: минимальное  $a_{min} = 2,5d_0 = 2,5 \cdot 23 = 57,5$  мм, принимается  $a = 60$  мм,

где  $d_0$  – диаметр отверстия для болта,  $d_0 = 23$  мм.

в) расстояние от полки уголка до центра болта принимается по таблице «Риски для размещения отверстий в уголках», (см. справочники проектировщика, а также приложение 2).

По результатам расчета выполнен чертеж (см. рис. 3.3).



Примечание: Болты класса точности «В» по ГОСТ 7798-70\*

Рис. 3.3. Соединение двух уголков с фанской на болтах обычной прочности по заданию с шифром «142»

## 3.2. Расчет соединений на высокопрочных болтах

### Теория вопроса

#### 1. Общие сведения

Высокопрочные болты выпускаются по ГОСТ P52643-2006 и ГОСТ P52644-2006. По точности они являются нормальными.

Высокопрочный болт, работая на осевое растяжение, обеспечивает передачу сил сдвига трением между соседними элементами, именно поэтому подобное соединение часто называют фрикционным.

Для увеличения сил трения поверхности элементов в месте стыка очищают от грязи, масла, ржавчины и окалины металлическими щетками, пескоструйным или дробеструйным аппаратом, огневой очисткой и не окрашивают.

Гайки затягивают тарировочным ключом на расчетное усилие.

#### 2. Определение количества требуемых болтов в соединении

Соединения на высокопрочных болтах рассчитываются в предположении передачи действующих в соединениях усилий через трение, возникающее между соприкасающимися поверхностями соединяемых элементов от натяжения высокопрочных болтов. При этом распределение продольной силы между болтами принимается равномерным.

Расчетное усилие  $Q_{bh}$ , которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, определяется по формуле:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bn} \mu}{\gamma_h},$$

где  $R_{bh}$  - расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта, определяется по формуле 6.7 [2]:

$$R_{bh} = 0,7 \cdot R_{bun},$$

где  $R_{bun}$  - нормативное сопротивление болта, принимается по табл. Г.8 [2];

Значения  $R_{bh}$  приведены в табл. Г.8 [2];

$\mu$  - коэффициент трения, принимается по табл. 42[2];

$\gamma_h$  - коэффициент надежности, принимается по табл. 42 [2];

$A_{bh}$  - площадь сечения болта по резьбе, принимается согласно табл. Г.9 [2];

Количество высокопрочных болтов в соединении при действии продольной силы  $N$  определяется по формуле:

$$n \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{Q_{bh} \cdot k \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c'}$$

где  $N$  - расчетное усилие в соединении;

$\gamma_c$  - коэффициент условия работы;

$k$  - количество плоскостей трения соединяемых элементов;

$\gamma_n$  - коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания;

$\gamma_b$  - коэффициент условий работы фрикционного соединения, зависящий от количества  $n$  болтов, необходимых для восприятия расчетного усилия, и принимается равным:

$$\gamma_b = 0,8 \text{ при } n < 5;$$

$$\gamma_b = 0,9 \text{ при } 5 \leq n < 10;$$

$$\gamma_b = 1,0 \text{ при } n \geq 10.$$

Натяжение высокопрочного болта производится осевым усилием:

$$P_b = R_{bh} \cdot A_{bh}$$

### 3. Размещение болтов

Размещение болтов производится в соответствии с табл. 40 [2], (см. §3.1).

### 4. Условные обозначения болтов

Условные обозначения болтов приведены на рисунке 3.4

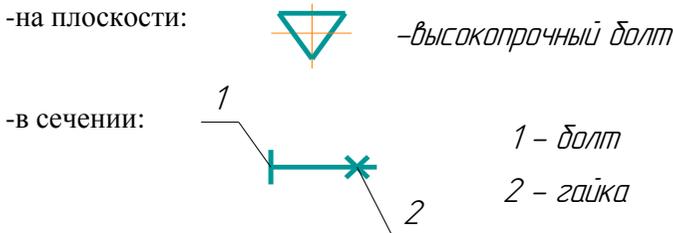


Рис.3.4. Условные обозначения высокопрочных болтов

### Задание

Выполнить расчет высокопрочных болтов из стали 40Х по ГОСТ Р52643-2006 в соединении двух равнополочных уголков по ГОСТ 8509-93 с фасонкой по ГОСТ 19903-74\* из условия равнопрочности соединения (см. рис. 3.5). Район строительства – г. Архангельск. Группа конструкций – 2. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n=1,0$ ) Коэффициент условий работы принять  $\gamma_c = 1,0$ . Нагрузка статическая. Обработку поверхностей трения выполнить газопламенными горелками без консервации. Способ регулирования натяжения болтов осуществлять по моменту закручивания. Сечение уголков, толщину фасонки и материал соединяемых элементов принять по таблице 2.1 в соответствии с трехзначным шифром, который выдается преподавателем.

По результатам расчета выполняется чертеж.

Порядок выполнения упражнения см. пример расчета.

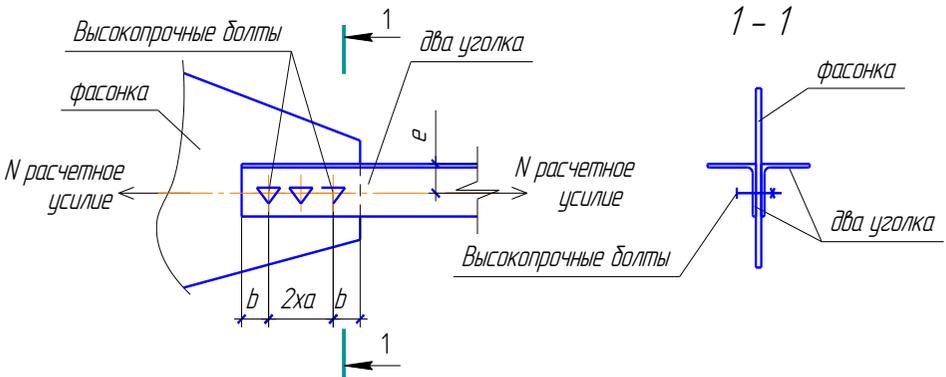


Рис. 3.5. Соединение двух уголков с фасонкой на высокопрочных болтах

### Пример

Исходные данные для варианта задания с шифром «142»:

1. Район строительства – г. Архангельск.
2. Группа конструкций – 2.
3. Нагрузка статическая.
4. Болты высокопрочные из стали 40Х по ГОСТ Р52643-2006.
5. Здание 2-ого уровня ответственности ( $\gamma_n=1,0$ ).
6. Коэффициент условий работы  $\gamma_c = 1,0$ .
7. Сечение равнополочных уголков – 2 L90×6 по ГОСТ 8509-93\*.
8. Толщина фасонки  $t_\phi = 14$  мм по ГОСТ 19903-74\*.
9. Материал соединяемых элементов сталь – С345-3 по ГОСТ 27772-88.
10. Обработку поверхностей трения выполнить газопламенными горелками без консервации
11. Способ регулирования натяжения болтов осуществлять по моменту закручивания

Пример выполнения упражнения для задания с шифром «142».

1. Назначается диаметр болтов. Диаметр болтов принимается в соответствии с теми же предпосылками и требованиями, что и для болтов обычной прочности (см. пример выполнения упражнения §3.1).

Принимаются болты М20 по ГОСТ 52643.

2. Определяется предельное усилие, которое может быть воспринято двумя уголками на растяжение при высокопрочных болтах (условие равнопрочности соединения) по формуле:

$$N = A^* \cdot R_y \cdot \gamma_c = 21,2 \cdot 32 \cdot 1,0 = 678,4 \text{ кН},$$

где  $A^*$  - расчетная площадь уголков. При статической нагрузке принимается  $A^* = A$ , при  $A_n \geq 0,85A$ , либо по условной площади  $A^* = 1,18 \cdot A_n$ , при  $A_n < 0,85A$ ;

где  $A$  – площадь сечения двух уголков

$$(A = k \cdot A_{уг} = 2 \cdot 10,6 = 21,2 \text{ см}^2);$$

$k$  – количество уголков;

$A_{уг}$  – площадь одного уголка принимается по сортаменту;

$A_n$  – площадь сечения двух уголков нетто (с учетом ослабления от-  
верстиями) ( $A_n = A - A_0 = 21,2 - 2,76 = 18,44 \text{ см}^2$ );

$A_0$  – площадь отверстий в одном сечении уголков

$$(A_0 = k \cdot A_{0,уг} = 2 \cdot 1,38 = 2,76 \text{ см}^2);$$

$A_{0,уг}$  – площадь отверстий в одном уголке

$$(A_{0,уг} = d_0 \cdot t_{уг} = 2,3 \cdot 0,6 = 1,38 \text{ см}^2);$$

$d_0$  – диаметр отверстия в уголках;

$t_{уг}$  – толщина полки уголка.

Т.к.  $A_n = 18,44 \text{ см}^2 \geq 0,85 \cdot A = 0,85 \cdot 21,2 = 18,02 \text{ см}^2$ , то принимается  $A^* = A = 21,2 \text{ см}^2$ .

$R_y$  – расчетное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести, принимается по таблице В.5[2], кН/см<sup>2</sup>;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимается в соответствии с заданием  $\gamma_c = 1,0$ ;

3. Расчетное усилие  $Q_{bh}$ , которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов, стянутых одним высокопрочным болтом, определяется по формуле:

$$Q_{bh} = \frac{R_{bh} A_{bn} \mu}{\gamma_h} = \frac{75,5 \cdot 2,45 \cdot 0,42}{1,12} = 69,4 \text{ кН},$$

где  $R_{bh}$  – расчетное сопротивление растяжению высокопрочного болта, определяется по табл. Г.8 [2] -  $R_{bh} = 75,5 \text{ кН/см}^2$ ;

$\mu$  – коэффициент трения, принимается по табл. 42[2]; при обработке поверхностей трения газопламенными горелками без консервации и способе регулирования натяжения болтов по моменту закручивания –  $\mu = 0,42$ ;

$\gamma_h$  – коэффициент надежности, принимается по табл. 42 [2]; при статической нагрузке, способе регулирования натяжения болтов по моменту закручивания и разнице между диаметром болта и диаметре отверстия  $\delta = 3 \text{ мм}$  –  $\gamma_h = 1,12$ ;

$A_{bn}$  – площадь сечения болта по резьбе, принимается согласно табл. Г.9 [2] -  $A_{bn} = 2,45 \text{ см}^2$ ;

4. Количество  $n$  высокопрочных болтов в соединении при действии продольной силы определяется по формуле:

$$n \geq \frac{N \cdot \gamma_n}{Q_{bh} \cdot k \cdot \gamma_b \cdot \gamma_c} = \frac{678,4 \cdot 1,0}{69,4 \cdot 2 \cdot 0,9 \cdot 1,0} = 5,43,$$

где  $N$  – расчетное усилие в соединении,  $N = 678,4$  кН;

$Q_{bh}$  – расчетное усилие, которое может быть воспринято каждой поверхностью трения соединяемых элементов,  $Q_{bh} = 69,4$  кН;

$k$  – количество плоскостей трения соединяемых элементов,  $k = 2$ ;

$\gamma_c$  – коэффициент условия работы,  $\gamma_c = 1,0$ ;

$\gamma_n$  – коэффициент, учитывающий уровень ответственности здания,  $\gamma_n = 1,0$ ;

$\gamma_b$  – коэффициент условий работы фрикционного соединения, зависящий от количества  $n$  болтов, необходимых для восприятия расчетного усилия, предварительно принимается  $\gamma_b = 0,9$  как при  $5 \leq n < 10$ .

Корректировка расчета за счет изменения значения  $\gamma_b$  не требуется, т.к. предварительно принятое значение  $\gamma_b = 0,9$  удовлетворяет условию  $5 \leq n < 10$ .

Принимаем с округлением в большую сторону шесть болтов М20 40Х по ГОСТ Р52643-2006.

5. Размещение болтов производится в соответствии стабл. 40 [2] на минимально возможных расстояниях, что позволяет обеспечить наибольшую компактность узла. Размещение болтов смотри §3.1

По результатам расчета выполнен чертеж (см. рис. 3.6).

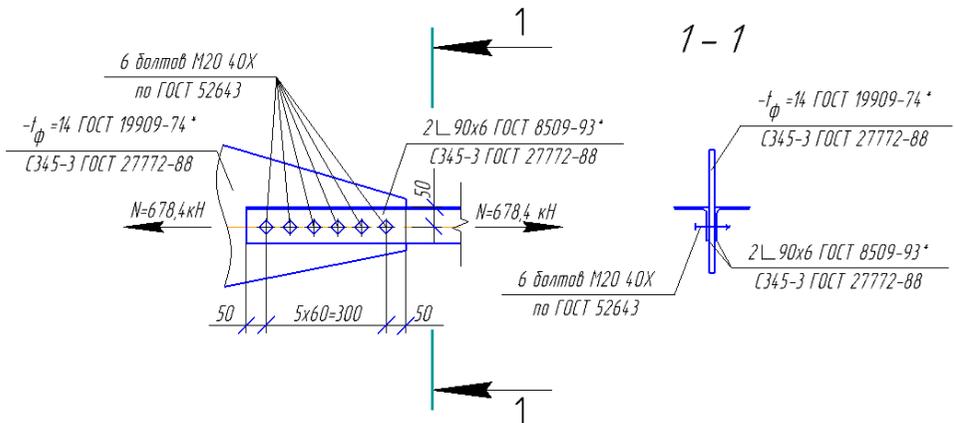


Рис. 3.6. Соединение двух уголков с фанонкой на высокопрочных болтах по заданию с шифром «142»

**Список использованных источников**

1. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\* / Минрегион России. – М.: ОАО «ЦПП», 2011 – 80 с.
2. СП 16.13330.2011. Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81\* / Минрегион России. – М.: ОАО «ЦПП», 2011 – 172 с.
3. ГОСТ Р 54257 – 2010. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – М.: Стандартинформ, 2011 – 14 с.
4. Архитектура промышленных предприятий, зданий и сооружений / В.А. Дроздов, Л.Ф. Гольденгерш, Е.С. Матвеев и др.; Под общ. ред. Н.Н. Кима. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1990. - 638 с.:ил. - ( Справочник проектировщика ).
5. Металлические конструкции: Учеб. для вузов / Ю.И.Кудишин, Е.И.Беленя, В.С.Игнатьева и др.; Под ред. Ю.И.Кудишин.-10-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 688 с.
6. Металлические конструкции. В 3 т. Т.1. Элементы стальных конструкций: Учеб. пособие для строит. вузов / В.В. Горев, Б.Ю. Уваров, В.В. Филиппов и др.; Под ред. В.В. Горева. - М.: Высш. шк., 1997. - 527 с.: ил.
7. Мандриков А.П. Примеры расчета металлических конструкций: Учеб. пособие для техникумов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Стройиздат, 1991. - 431 с.: ил.
8. И.В. Молев. Стальные конструкции промышленных площадок. В 5ч. Методические указания к выполнению расчетно-графической работы по курсу «Металлические конструкции» для специализации 290301 -«Исследование и проектирование зданий и сооружений» ( профиль «Металлические конструкции» ). - Нижний Новгород, ННГАСУ, 2001.
9. А.И. Колесов, Б.С. Поликарпов. Стальная рабочая площадка производства. Компонировка, конструирование и расчет несущих элементов: Учебное пособие. - Н. Новгород: ННГАСУ, 1998. - 91с.

## Приложение 1

## Риски для размещения отверстий в уголках

Однорядное расположение			Двухрядное расположение					Размещение отверстий
$b$	$e$	$d_{0,\max}$	$b$	$e_1$	$e_2$	$d_{0,\max}$		
50	30	13	140	60	45	25	Шахматное	
56	30	15	140	55	55	19	Рядовое	
63	35	17	160	65	60	25	Шахматное	
70	40	19	160	60	65	21	Рядовое	
75	45	21						
80	45	21	180	65	80	25	Шахматное	
90	50	23	200	80	80	25		
100	55	23	220	90	90	28,5		
110	60	25	250	100	90	28,5		
125	70	25						

Колотов Олег Васильевич

ТЕОРИЯ, ЗАДАНИЯ И ПРИМЕРЫ ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЙ  
ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КУРСУ “МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ  
КОНСТРУКЦИИ”

**ЧАСТЬ 1. ВЫБОР СТАЛИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ, РАСЧЕТ СВАРНЫХ И  
БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Методические указания к выполнению упражнений  
практических занятий по курсу «Металлические конструкции» для  
студентов направления 290800.62 «Строительство», профиль  
«Водоснабжение и водоотведение».

- Н. Новгород: ННГАСУ, 2013. - 43 с.

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.. Формат 60 × 90 1/16

Бумага газетная. Офсетная печать. Уч.изд.л. 2,2 .

Усл.печ.л. 2,75 . Тираж 250 экз. Заказ № \_\_\_\_\_.

Нижегородский государственный архитектурно - строительный  
университет , 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, 65.

Полиграфический центр ННГАСУ, 603950, г. Нижний Новгород,  
ул. Ильинская,65.